

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	16 April 2024
Accepted	23 April 2024
Published	30 June 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

Serena Baiani, Paola Altamura, Gaia Turchetti, Giada Romano

ABSTRACT

Il contributo presenta gli esiti di attività di ricerca incentrate sui siti dismessi del patrimonio industriale intesi come risorsa strategica per la transizione energetica e circolare, attraverso l'adozione di azioni rigenerative capaci di innescare nuovi processi circolari intrinseci all'intervento di riuso adattivo e/o attivati da questo ed estesi al territorio. L'approccio sperimentale è orientato a definire interventi compatibili con le esigenze di conservazione, nel più ampio quadro della caratterizzazione dei flussi, materiali e immateriali, in atto e potenziali, per realizzare un ecosistema circolare con produzione di energia a zero emissioni, riuso e riciclo di materiali e acqua. Il contributo illustra in particolare due scenari di 'riuso adattivo circolare' su un caso pilota, il più complesso tra i siti identificati nelle attività di ricerca, valutando, tramite specifici indicatori, il livello di circolarità raggiunto.

The paper presents the outcomes of research activities focused on disused industrial heritage sites understood as a strategic resource for the energy and circular transition, through the adoption of regenerative actions capable of triggering new circular processes intrinsic to adaptive reuse interventions and/or activated by it and extended to the territory. The experimental approach aims to define conservation-compatible interventions within the broader framework of characterising current and potential resource flows, both material and immaterial, to achieve a circular ecosystem with zero-emission energy production, reuse and recycling of materials and water. In particular, the paper illustrates two 'circular adaptive reuse' scenarios on a pilot case, the most complex among the sites identified within the research activities, assessing the level of achieved circularity through specific indicators.

KEYWORDS

patrimonio industriale, transizione energetica, progetto circolare, riuso adattivo, flusso di risorse

industrial heritage, energy transition, circular design, adaptive reuse, resource flow

Serena Baiani, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). With a specialisation in Industrial Design, her research focuses on the relationship between technological innovation and the design of the existing, addressing the issues of ecological and energy efficiency in the design of the rehabilitation of the built environment. E-mail: serena.baiani@uniroma1.it

Paola Altamura, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). A former Research Fellow at ENEA in the Resource Valorisation Laboratory, she conducts research and experimentation on the ecological effectiveness of interventions on the built environment. E-mail: paola.altamura@uniroma1.it

Gaia Turchetti, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She conducts research and experimentation on the issues of technological and environmental design, with particular reference to the adaptation and mitigation of existing and historic built structures. E-mail: gaia.turchetti@uniroma1.it

Giada Romano, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She conducts research in the area of climate mitigation strategies focusing on energy and water efficiency and circularity of natural resources. E-mail: giada.romano@uniroma1.it



In linea con il Piano per l'Obiettivo Climatico 2030 (European Commission, 2020a) e gli obiettivi di 'Fit for 55' (European Commission, 2021), la nuova strategia di crescita mira a un'Europa efficiente sotto il profilo delle risorse (European Commission, 2019, 2020b), in cui i sistemi energetici siano basati su fonti rinnovabili e la riduzione di consumi ed emissioni sia determinata dall'efficientamento del patrimonio edilizio (European Commission, 2019; The European Parliament and the Council of the European Union, 2018a, 2018b). In questo quadro i siti dismessi del patrimonio industriale rappresentano una risorsa strategica da reinterpretare rispetto agli obiettivi di transizione energetica ed economia circolare. In particolare, il riuso adattivo dell'architettura industriale crea la condizione di innesco di nuovi cicli, attraverso azioni di rigenerazione che partono dalla rilevanza storico-economica e socioculturale del sito per il territorio (Battisti, 2001; EURES, 2019; Gustafsson, 2019), per individuare nuove funzionalità, valorizzando le testimonianze per metterle al servizio della comunità locale e ridurre al contempo gli impatti ambientali.

Secondo la Carta di Leeuwarden (ACE, 2018) il riuso adattivo del patrimonio costruito comporta sfide specifiche, in ottica ciclo vita, che attivano nel confronto con l'esistente di valore documentario (Douet, 2022; Baiani, Turchetti and Romano, 2024) processi a medio e lungo termine in grado di favorire e assicurare, con una visione multidisciplinare, approcci partecipativi, innovazione e qualità nel progetto, flessibilità e adattività negli usi, garantendone la completa sostenibilità finanziaria. I nuovi cicli di vita possono tradursi in processi circolari intrinseci all'intervento, che coinvolgono materiali e componenti per la conservazione / riuso durante le fasi di riattivazione, oppure processi circolari indotti dal riuso adattivo del sito ex industriale, che permangono nel tempo e si estendono al territorio, ampliandone l'effetto.

L'approccio sperimentale, orientato al riuso circolare e adattivo (Gravagnuolo, Angelis and Iodice, 2019), si misura con interventi di conservazione della memoria delle attività originarie, delle architetture produttive e del sito industriale (Baiani, Altamura and Giordano, 2022; Baiani et alii, 2023) inseriti all'interno dei flussi, materiali e immateriali, in atto e potenziali (ARUP, 2016; Ghisellini, Ripa and Ulgiati, 2018), per la realizzazione di un ecosistema circolare finalizzato alla produzione di energia a zero emissioni da scarti o rifiuti, al riuso di componenti e materiali da decostruzione e al 'reversible building design'.

Approccio e obiettivi della ricerca | Coerentemente con le sperimentazioni di città circolari e climaticamente neutre (UNEP, 2012; EU Water Alliance, 2020; WEF, 2021), l'approccio progettuale, in ottica di ciclo di vita e zero emissioni, delinea strategie e opzioni tecniche per l'intervento integrato su tre flussi significativi: materici, energetici ed ecologici. La lettura dei flussi di risorse, in ottica di ottimizzazione e chiusura locale dei cicli (Potting et alii, 2017; Van Buren et alii, 2016; Ghisellini, Cialani and Ulgiati, 2016; McKinsey&Company, 2015), individua in particolare i flussi strategici per la riattivazione delle funzioni produttive nei complessi industriali, anche in rapporto a ulteriori filiere caratterizzanti il tessuto, adottando modelli aziendali e tecnologie innovative orientate alla economia circolare.

La componente materiale è restituita da analisi tipo-tecno-costruttive dell'esistente, che oltre ad attestarne il valore testimoniale, stima lo stock dei materiali e il relativo valore incorporato di energia ed emissioni climateranti (Luciano et alii, 2023), per una valutazione dell'incidenza delle azioni di valorizzazione e riuso adattivo, alla scala edilizia e delle componenti. Tale aspetto si traduce in logiche di sottrazione o addizione, mirate a obiettivi di dematerializzazione e riduzione dell'energia incorporata.

La circolarità e l'efficienza energetica (ARUP, 2020) valorizzano i flussi di rifiuti e scarti degli insediamenti urbani (Ranjbari et alii, 2022), integrando alla componente organica i residui derivanti dagli impianti di trattamento delle acque reflue, che nascondono un potenziale inespresso (Liu et alii, 2020). Sono integrati i flussi idrici, in cui l'acqua di superficie, di falda o di recupero è risorsa energetica in ambito geotermico (Bayer et alii, 2019) o risorsa di seconda vita attraverso i processi di raccolta-recupero-riuso delle acque reflue, per il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico (EEA, 2019, 2022) e di decarbonizzazione (Pluciennik-Koropczuk, Myszograj and Mąkowski, 2022; Romano et alii, 2023) legate al City Water Resilience Approach (Rockefeller Foundation et alii, 2019).

A partire dagli approcci circolari, lo sviluppo della metodologia si incentra su una articolata sperimentazione, di cui il contributo presenta un caso pilota – l'area dell'ex SNIA Viscosa a Roma, il più complesso tra i siti identificati nelle attività di ricerca – in cui si pongono a confronto due scenari di 'riuso adattivo circolare'. Il sito, significativa testimonianza della storia dell'industria tessile degli anni '20-'30, si trova in un contesto urbano particolare, ambientalmente fragile, a forte valenza paesaggistica, attraversato da rilevanti flussi di risorse materiche, ecologiche ed energetiche.

Rispetto allo stato dell'arte la ricerca apre a una più articolata definizione dell'intervento di riuso adattivo del patrimonio industriale, in relazione a una logica di circolarità dei flussi e delle risorse non rinnovabili verso una transizione energetica ed ecologica, ponendosi in linea con il Progetto H2020 CLIC¹ – che applica i principi dell'economia circolare al Patrimonio culturale per uno sviluppo urbano / territoriale sostenibile dal punto di vista ambientale, sociale, culturale ed economico (Foster, 2020) – ampliando la visione dall'edificio al sito. Il superamento delle logiche definitorie sul tema trova, nell'applicazione dei principi dell'urban mining, l'innesco di una visione interdisciplinare che modifica il significato dei processi di dismissione, condizione di innesco di nuovi cicli.

Metodologia della ricerca | La metodologia adottata, ascalare – basandosi su strategie di circolarità che agiscono dalla dimensione territoriale a quella del componente edilizio – intersettoriale e interdisciplinare, si struttura in quattro fasi, di cui la seconda, di natura sperimentale, è articolata in cinque step ed è svolta in modo iterativo. Di seguito si riporta la struttura delle fasi operative.

La Fase 1) Conoscitiva è incentrata su: 1.1) revisione della letteratura internazionale tematica per la definizione di approcci, strategie e sistemi di valutazione della circolarità nel progetto dell'esistente; 1.2) raccolta, selezione e comparazione di buone pratiche esemplari (per la definizione dei

caratteri del sito, delle architetture produttive e delle operazioni adottate nella trasformazione); 1.3) identificazione di casi pilota per la sperimentazione, differenziati dal punto di vista tipo-tecno-morfologico e geografico.

La Fase 2) Sperimentazione su diversi siti, identificati nella fase 1.3, è articolata in: 2.1) conoscenza dell'evoluzione storica di tessuti, architetture produttive e filiere locali; costruzione delle condizioni di contesto microclimatico, biofisico e morfologico dei siti; 2.2) mappatura dei flussi di risorse in essere e potenziali, che attraversano i diversi siti; 2.3) individuazione e consultazione degli stakeholder; 2.4) definizione del programma funzionale e verifica delle potenziali richieste inesprese; 2.5) approfondimento della strategia di approccio morfologico-costruttivo (svuotamento / densificazione).

I casi pilota indagati nella fase sperimentale / applicativa della ricerca comprendono otto siti profondamente diversi: l'ex Mira-Lanza a Roma (Baiani, Altamura and Giordano, 2022); le autorimesse ATAC di Piazza Ragusa (Luciano et alii, 2023) e Piazza Bainsizza a Roma; i Termovalorizzatori di Colleferro (Baiani, Altamura and Rossini, 2023); l'ex SAI a Passignano sul Trasimeno (Baiani, Turchetti and Romano, 2024); l'ex SITOCO di Orbetello; l'ex Hangar Rossi sul lago di Bracciano; il sito ferroviario e produttivo tessile di Mayfield a Manchester (Pedata, Altamura and Rossi, 2024). Sui siti sono stati sperimentati gli step di conoscenza e mappatura, verificando le modalità di lettura sistemica dei flussi materiali e immateriali messe a punto a partire dagli approcci legati al metabolismo urbano. In particolare, in ciascun sito, è stata effettuata preliminarmente la stima dello stock dei materiali (Luciano et alii, 2023) volta a comprendere il valore ambientale racchiuso nella preesistenza in termini di energia e carbone incorporati.

La Fase 3) Valutazione dei livelli di circolarità raggiunti negli scenari di riuso adattivo è sviluppata attraverso la costruzione di un quadro di indicatori specifici (indagati nella fase 1.1), mentre la Fase 4) Sintesi Critica ha per oggetto l'analisi dei risultati delle sperimentazioni e la strutturazione di indirizzi per il 'riuso adattivo circolare' del patrimonio industriale.

Nelle buone pratiche analizzate (Fig. 1) e nei progetti condotti dal Gruppo di Ricerca sui casi pilota (Fig. 2), il tema della 'reintegrazione della lacuna' è stato affrontato affiancando al tema della tutela concetti di intensificazione e di decostruzione, guidati da una selezione e scelta critica. I due termini dicotomici definiscono una condizione specifica del sito industriale dismesso il quale, pur mantenendo le caratteristiche essenziali e connotative del patrimonio, si trasforma con un processo di naturalizzazione attivato dalla vegetazione, che si appropria del costruito e mantiene la capacità di riallacciare le trame dell'esistente, creando nuovi sistemi di connessione, in sinergia con le testimonianze storiche.

I riferimenti e le buone pratiche internazionali |

A partire da una fase conoscitiva avanzata, basata sulla revisione della letteratura internazionale sui concetti di riuso adattivo del patrimonio industriale in rapporto ai concetti di circolarità e resilienza (De Gregorio et alii, 2020; De Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) nella Fase 1.2 della ricerca è stato costruito un quadro di confronto analitico-

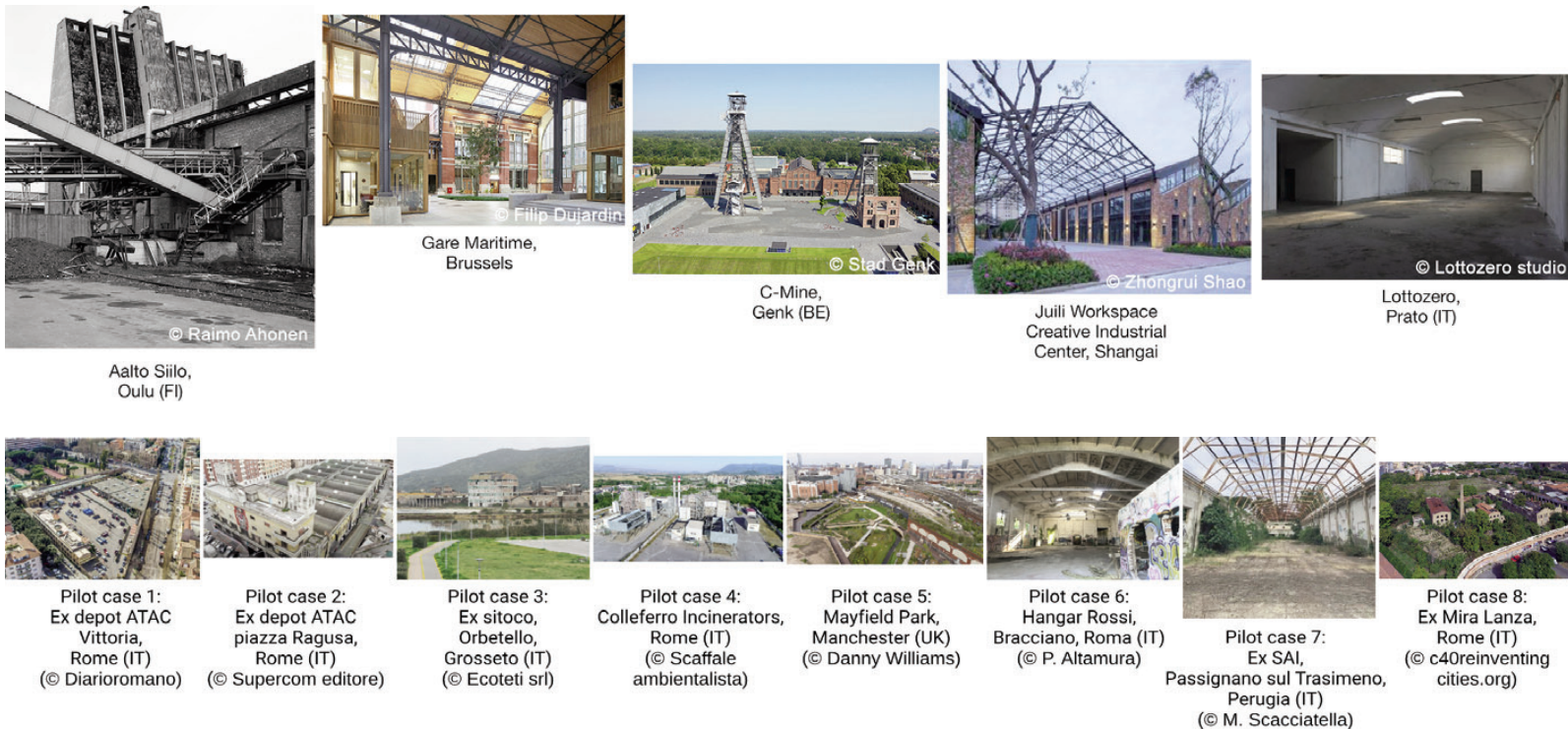


Fig. 1 | Images of some exemplary cases selected from those collected in the research (credit: the Authors, 2023).

Fig. 2 | Images of the disused industrial complexes selected as application cases in the experimental phase of the research (credit: the Authors, 2023).

Next page

Fig. 3 | Photographic survey of the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

valutativo (Tab. 1) di buone pratiche tra le quali si riportano, a titolo esemplificativo: C-Mine a Genk (Belgio), Lottozero a Prato (Italia), Gare Maritime a Bruxelles (Belgio), Juili Workspace Creative Industrial Center a Shanghai (Cina) e Aalto Siilo a Oulu (Finlandia). I casi sono stati selezionati e mappati considerando il ricorso a processualità circolari nell'ambito delle attività di conservazione e riuso adattivo, o l'attivazione di processi circolari 'attraverso' e 'a valle' dell'intervento.

Il caso della miniera di carbone Winterslag trasformata in C-Mine (2010) rappresenta un caposaldo dell'approccio di riuso adattivo orientato alla sostenibilità con un accento particolare sugli aspetti sociali ed economici. Il progetto ha visto un processo partecipativo con mappatura di usi e stakeholder, che ha condotto alla creazione di spazi aperti a uso della comunità locale e di diversi altri utenti. Il grande e impattante sito minerario è stato convertito in hub per l'industria creativa, la quale ospita anche una sala concerti, una sala ristorazione, spazi espositivi e servizi per fruizione turistica. Il progetto di riuso adattivo ha visto la conservazione dei macchinari e dei materiali, con approccio di circolarità dei materiali e delle risorse limitati a pochi elementi, come i componenti per pavimentazioni.

In maniera analoga, seppure su scala molto più limitata, il progetto Lottozero a Prato ha visto nel 2016 il riuso adattivo di un magazzino all'ingrosso di alimenti e bevande degli anni '50, volto ad attivare un hub per la ricerca sul tessile negli ambiti del design, fashion e arte. Interessante, e in linea con gli obiettivi di circolarità, non tanto la strategia di conservazione e valorizzazione di materiali e caratteri costruttivi del magazzino, quanto l'attivazione di processi di economia circolare per la filiera del

tessile locale, con la creazione di spazi a supporto di attività di ricerca sui materiali di scarto.

Gli altri tre casi studio rappresentano invece approcci più consapevolmente orientati alla transizione energetica e circolare. In particolare la Gare Maritime a Bruxelles, una stazione per traffico merci dell'inizio del XX secolo, ha visto una radicale trasformazione in spazio polifunzionale (uffici e spazi commerciali) con processi caratterizzati dal recupero e riuso di componenti in pietra dai docks dell'intorno per la facciata e le pavimentazioni dell'edificio, ma anche dal ricorso estensivo a sistemi costruttivi reversibili e low-carbon in legno. Inoltre il progetto ha visto l'integrazione architettonica estesa di fotovoltaico (BIPV) nelle vetrate, il ricorso a soluzioni passive per il risparmio energetico, compreso il recupero di calore, e l'attivazione di un ciclo chiuso delle acque piovane.

Con un approccio simile il Juili Workspace Creative Industrial Center di Shanghai è stato trasformato da deposito di un'azienda di logistica e stoccaggio in Centro per l'industria creativa aperto alla comunità locale con uffici e servizi. L'intervento ha visto il recupero e riuso di container e mattoni, integrati nel progetto di riuso adattivo, e al tempo stesso l'attivazione di soluzioni per il riscaldamento passivo e per l'illuminazione naturale.

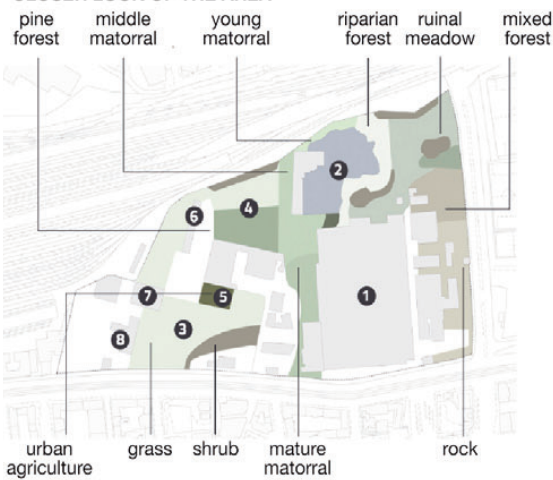
Il progetto di recupero dell'Aalto Siilo, edificio d'autore del 1930 facente parte del complesso industriale della fabbrica di cellulosa Toppila, in attività fino alla fine degli anni '80, è rappresentativo di un approccio pienamente circolare al riuso adattivo del patrimonio industriale. Questo esempio, seppure incentrato alla scala di pochi edifici e focalizzato in prevalenza sul silo stesso, ha visto i progettisti adottare una strategia progettuale chiaramente indirizzata alla transizione energetica

e circolare, in modo integrato e con un processo culturalmente molto partecipato, grazie al coinvolgimento della Factum Foundation. Obiettivo chiave è stata la riattivazione del complesso grazie a un mix funzionale, con centro culturale, sauna pubblica, spazi per ricerca e uffici. Anche in questo caso, il processo di riuso adattivo è caratterizzato dal recupero e riuso di componenti in legno dal silo e di elementi in cls dall'edificio e da edifici dell'intorno; al contempo è attivata una nuova produzione energetica da rinnovabili, facendo ricorso in parallelo al recupero di calore, per alimentare la sauna, e delle acque.

Come dichiarato negli obiettivi della ricerca, l'approccio sperimentato nei casi pilota si distingue da quelli riscontrati nelle buone pratiche sia per la complessità e/o la dimensione dei siti in esame, sia per la natura dei contesti, caratterizzati in diversi casi da condizioni ambientali di fragilità, sia per la lettura sistemica dei flussi di risorse a monte della definizione stessa delle strategie progettuali, sia per il tentativo di strutturare un quadro olistico di soluzioni per la transizione energetica e circolare del patrimonio, coerente con la necessità di preservare la memoria del luogo e delle attività produttive originarie, ma spinto verso l'attivazione di processi circolari, indotti dallo stesso intervento di riuso adattivo, che si riverberano sul territorio intorno al sito.

L'approccio sperimentale vede dunque una visione circolare in cui i processi a ciclo chiuso caratterizzano tanto l'intervento di riuso adattivo quanto il comportamento del complesso rigenerato nella sua vita utile, a supporto di una gestione efficiente e circolare di tutti i flussi di risorse, materiche, energetiche, idriche, ma anche immateriali, culturali, economiche e sociali.

CLOSER LOOK OF THE AREA



1. Ex SNIA Viscosa



2. Lago Bullicante Ex SNIA Viscosa



3. Energy park



4. Ravenna pine forest



5. Urban agriculture



6. Historical Archive Ex SNIA



7. Skate park "il Quadrato"



8. Social center Ex SNIA

Scenari di 'riuso adattivo circolare' dell'ex SNIA Viscosa

Nel caso pilota qui presentato, l'area dell'ex SNIA Viscosa a Roma (Fig. 3), si sperimentano due scenari di 'riuso adattivo circolare' basati su decostruzione e intensificazione, analizzando le diverse declinazioni nelle logiche di transizione energetica, ecologica e digitale del sistema urbano. Il sito, significativa testimonianza della storia dell'industria tessile degli anni '20-'30 in cui si produceva il filato in cellulosa (Viscosa), completamente dismesso nel 1955, si inserisce in un contesto ambientale fragile, a forte valenza naturalistica e paesaggistica, che negli elaborati del Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR) è individuata come area di notevole interesse pubblico (PTPR, Carta della Qualità del PRG, ai sensi degli artt. 134 e 136 del Decreto Legislativo 42/2004), area urbana oggetto, nel tempo, di progetti di recupero e riqualificazione. Il sistema produttivo della fabbrica si eleva accanto all'attuale Parco dell'Energia, in un'area caratterizzata da un lago creato dai lavori di scavo per la realizzazione di un complesso commerciale (mai ultimato) e alimentato dalle acque sorgive del fosso della Marranella (Fig. 4).

L'intervento, nei due scenari, indaga diverse azioni operative guidate da logiche di addizione o di sottrazione con decostruzione selettiva, coerenti con la modularità tipologica e la serialità costruttiva del patrimonio industriale, per la definizione di soluzioni integrate al fine della transizione energetica, ecologica e digitale (Rigillo, Galluccio and Paragiola, 2023), attraverso l'adozione di sistemi responsivi e adattivi che si integrano, in un caso con una logica più conservativa e, nell'altro, più trasformativa. Da un lato si è lavorato prevalentemente sui flussi di energia, acqua, scarti di produzione e rifiuti, realizzando un hub di recupero de-

gli scarti tessili per la produzione di semilavorati destinati a diverse filiere. Dall'altro sono stati valorizzati le risorse vegetali e la biomassa residuale, i flussi di energia e i materiali, per la realizzazione di un hub per l'agricoltura urbana, network di produzione, vendita e consumo in mercatiionali del comparto urbano, finalizzato a limitare gli sprechi di cibo, i trasporti e le correlate emissioni di CO₂.

Sulla base dei due approcci, nel primo caso il processo di riuso adattivo è rivolto alla preservazione e riutilizzo di alcune strutture del sistema industriale, la parte storica del complesso, per l'attivazione della filiera agroalimentare urbana, capace di potenziare lo scambio simbiotico tra uomo e natura in un luogo che è da diversi anni oggetto di un processo di rinaturalizzazione. In tal modo si riattivano flussi e filiere esistenti nel territorio, riportandole all'interno dell'area dismessa, in continuità con le attività di coltura orticola nel Parco delle Energie.

Nel secondo caso il processo di riuso adattivo è rivolto alla densificazione del costruito, intervenendo secondo una logica di intensificazione che potenzia le connessioni e le spazialità dell'esistente, ricalcando il sedime perduto della fabbrica e integrando, con strutture leggere e disassemblabili, una nuova produzione del tessile che, in linea con la vocazione produttiva originaria, ricostruisce e integra diversi flussi di tessile di scarto provenienti dal territorio, per dare vita a un hub in cui si praticano riuso e riciclo meccanico delle fibre tessili.

I due approcci circolari, esemplificati nello sviluppo delle ipotesi progettuali a livello di concept (Figg. 5, 6), evidenziano diverse logiche, intervenendo in maniera dicotomica nel processo di reintegro della lacuna: a) mantenendo il 'vuoto' esistente, implementandolo e riconsegnando al layout

naturale il sito (con opportuni scenari di bonifica) nella previsione di ospitare un hub agroalimentare che sperimenta, in ambito urbano, sistemi idropo- nici e acquaponici, integrandoli con le componenti naturalistiche e con gli orti urbani nell'area vasta; b) integrando il costruito con soluzioni tecnologiche leggere e disassemblabili che ridefiniscono la volumetria della fabbrica, ospitando un hub del tessile (dalla produzione, al recupero, alla formazione) in continuità con il processo produttivo della viscosa.

I processi di definizione del concept derivano da una lettura integrata e complessa dei vari flussi di risorse, che vede, da un lato la valorizzazione delle risorse vegetali, della biomassa residuale, dei flussi di energia e dei materiali come riferito in precedenza, dall'altro un lavoro sviluppato sui flussi di energia, acqua, scarti di produzione e rifiuti, con la realizzazione di un hub di recupero degli scarti tessili per la produzione di semilavorati destinati a diverse filiere, considerando la logica di recupero, riuso, riciclo delle risorse provenienti dal lotto o da siti limitrofi ad esso, derivanti dall'ambiente costruito o dai processi produttivi esistenti o integrati (Fig. 7).

I processi di mappatura di materiali e dei flussi di risorse, nei due scenari progettuali, risultano coerenti con la modularità e la serialità del patrimonio industriale. Il progetto di riuso adattivo, nell'approccio tecnologico-ambientale e in ottica di ciclo di vita, sovrappone sistemi responsivi e adattivi che si integrano – in un caso con una logica più conservativa, nell'altro con un approccio più trasformativo – all'esistente, esemplificando operazioni di Transition Design (Irwin, 2018), capaci di affrontare in maniera sistemica le criticità, per costruire e alimentare un rapporto di complemen-

tarietà strategica tra ecologia, energia e digitale.

Gli scenari di 'riuso adattivo circolare' intendono attivare, mediante processi partecipativi, anche la comunità, che è inclusa tra gli stakeholder di riferimento nella mappatura volta a leggere le esigenze alla base del progetto e a trasporle in output concreti verso una transizione anche digitale dei flussi e delle filiere individuate (Fig. 8). I processi di riattivazione dei siti industriali, seguendo una metodologia ascalare, interdisciplinare e intersettoriale, si incentrano su una fase di analisi e conoscenza dei flussi di risorse, propedeutica alla riattivazione delle funzionalità produttive o produttivo / culturali delle aree e all'individuazione di ulteriori filiere / flussi potenziali e caratterizzanti il territorio, verso modelli imprenditoriali e tecnologie innovative orientate alla economia circolare (Fig. 9).

Valutazione dei livelli di circolarità raggiunti negli scenari di riuso adattivo | La misurazione del Livello di Circolarità (LdC) raggiunto nel tempo in coerenza con l'efficacia delle strategie applicate è costruita in base a specifiche dimensioni della sostenibilità relative a risorse materiche e componenti tecniche, risorse energetiche e idriche, rifiuti e emissioni (UNI/TS 11820:2022; Material Circularity Indicator, Reuse Potential Indicator, Sustainable Circular Index). Ogni dimensione sottende un set di indicatori che rappresentano la quota parte di materiali circolari, energia rinnovabile, acqua recuperata e riutilizzata e rifiuti inviati a riciclo, rispetto al totale utilizzato per la produzione del prodotto e quantificato lungo il ciclo di vita dello stesso (Tab. 2). Gli indicatori considerati, singoli o composti, sono stati selezionati in riferimento ai livelli di applicazione micro (prodotto), meso (edi-

ficio) e macro (tessuto) e in relazione alle 6R strategiche (Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recover).

Il tema della misurazione del livello di circolarità assume un'importanza rilevante anche nel calcolo degli impatti e nell'adozione di misure di mitigazione, riduzione e compensazione delle emissioni climalteranti, al fine di migliorare la performance ambientale dei sistemi edilizi. A titolo esemplificativo, e non esaustivo, sono riportate le principali strategie e azioni tecniche attuate nel caso dell'ex SNIA, nei due scenari di 'riuso adattivo circolare', a partire dalle quali vengono citati solo alcuni degli indicatori di circolarità valutati per verificare l'efficacia dell'intervento sui flussi materici, energetici ed ecologici, e dei quali si riportano i risultati ottenuti.

Con riferimento alle 'risorse materiche e alle componenti tecniche', a partire dall'obiettivo specifico di limitare le emissioni di CO₂ associata all'impiego di nuovi materiali e ai processi connessi, sono riutilizzate le componenti degli edifici presenti nell'area dell'ex SNIA, attraverso processi di demolizione selettiva, catalogazione dei materiali esistenti e previsione di riuso e riciclo on-site e off-site, come si riporta in dettaglio in Tabella 3. Ad esempio, le componenti metalliche della struttura portante, in ottica di decostruzione e progetto circolare, vengono riusate per costruire il telaio di supporto per i pannelli in policarbonato di chiusura delle nuove serre; i montanti che compongono la trave reticolare di tipo 'shed' vengono tagliati per ottenere dei moduli che costituiranno la base per la nuova intelaiatura e le nuove componenti vengono assemblate e connesse tramite saldatura.

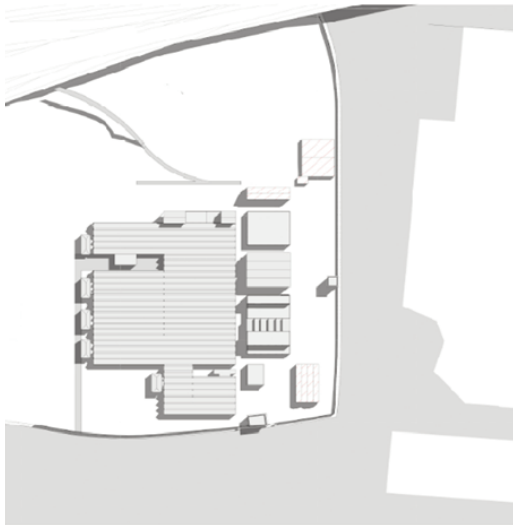
Le strategie di circolarità esplicitate e sintetizzate in Figura 10 permettono di calcolare i seguenti indicatori di circolarità:

- 'uso di materie prime da fonti riutilizzate o riciclate'; questo indicatore misura l'uso di materie prime seconde e fa riferimento ai materiali derivati dai processi di recupero, riuso e riciclo e dalla rigenerazione o dalla trasformazione di prodotti già esistenti; i materiali vengono poi processati e trasformati in nuove materie prime che possono essere utilizzate, a loro volta per la produzione di nuovi prodotti o componenti; la quantità di materie prime seconde viene messa in rapporto alla quantità globale di materiale impiegato ai fini del calcolo dell'indicatore di circolarità; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato livello di uso di materie prime da fonti riutilizzate o riciclate;
- 'riciclo delle risorse materiche e delle componenti'; questo indicatore misura la gestione delle risorse materiche o delle componenti diventate rifiuti, con particolare riferimento alla quantità di materiale che può essere riciclato, calcolato in rapporto percentuale rispetto alla quantità globale di risorse materiche o componenti impiegate; maggiore è la percentuale che deriva dal calcolo di questo indicatore, maggiore sarà la percentuale di risorse materiche o componenti che possono essere riciclate;
- 'energia incorporata nei materiali'; questo indicatore misura la somma dei flussi di energia, diretti e indiretti, necessari per produrre un prodotto o una componente, indicando quanta energia sia incorporata nel prodotto stesso; si tratta di un indicatore che, a cavallo tra i livelli di circolarità delle risorse materiche e delle componenti e quelli delle

Case study, location, and year of construction	Adaptive reuse intervention designer, and year	Original production activity	Main functions after adaptive reuse	Circularity strategies in the adaptive reuse intervention	Intervention-induced circularity (material flow, waste flow, energy flow, water flow, etc.)
C-Mine Genk (BE) 1917	51N4E 2010	Coal Mine Winterslag	Hub housing 42 companies and 330 jobs in the creative industry; concert hall, restaurants, exhibition space, services for tourist use	Reuse of flooring components Conservation of machinery and materials Participatory process with mapping of uses and stakeholders	Creation of spaces open for use by the community and various other users
Lottozero Prato (IT) 1950s	Tessa and Ariana Moroder 2016	Food and beverage wholesale warehouse	Hub for textile research in design, fashion, art	Preservation and enhancement of the materials and construction features of the warehouse	Activation of circular economy processes for the textile supply chain, with the creation of spaces to support research activities on waste materials
Gare Maritime Brussels (BE) early 1900	Neutelings Riedijk Architecten 2016-2020	Freight traffic station	Multifunctional space with offices and retail	Recovery and reuse of stone components from the surrounding docks for the façade and flooring of the building	Activation of energy production from renewables (BIPV) Activation of a closed rainwater cycle Heat recovery
Juili Workspace Creative Industrial Center Shanghai (Cina)	Architect+ Architectural Design Studio 2020	Warehouse of a logistics and storage company	Open Creative Industry Centre (office space with services)	Recovery and reuse of containers and bricks integrated into the adaptive reuse project	Activation of passive heating solutions Implementation of natural lighting solutions
Aalto Siilo Oulu (FI) 1930	Skene Catling de la Peña 2020-2024	Cellulose factory	Functional mix, with a cultural centre, public sauna, research and office space	Recovery and reuse of timber components from the silo and concrete elements from the building and surrounding buildings	Activation of energy production from renewable sources Heat recovery for sauna thermal supply Water recovery

Tab. 1 | Comparison of exemplary case studies analysed in the first phase of research (credit: the Authors, 2023).

THE TRANSFORMATIONS OF EX SNIA VISCOSA



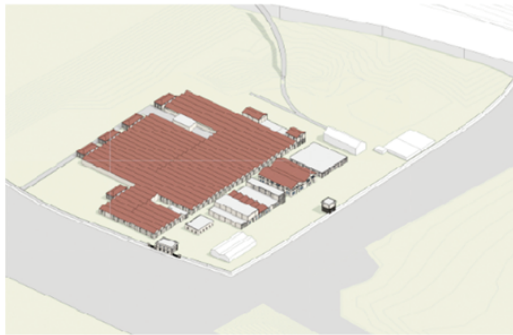
1. SITE PLAN | 1920s



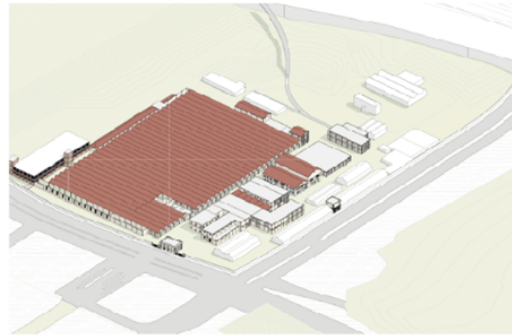
2. SITE PLAN | 1930s-1980s



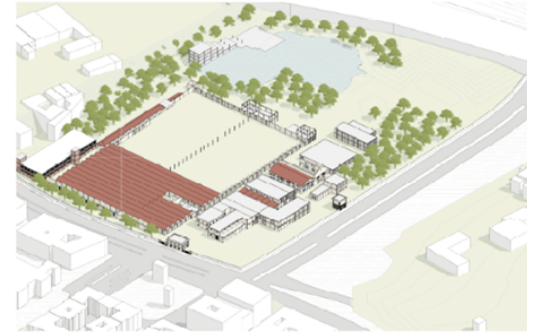
3. SITE PLAN | existing



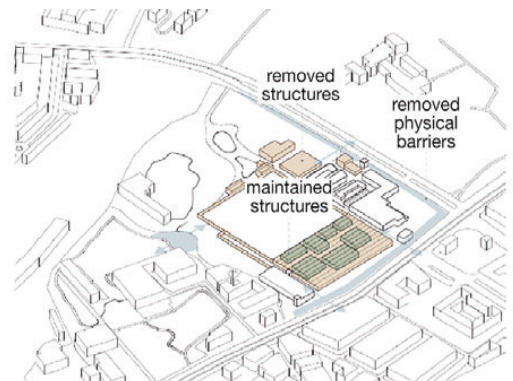
4. ISOMETRIC VIEW | 1920s



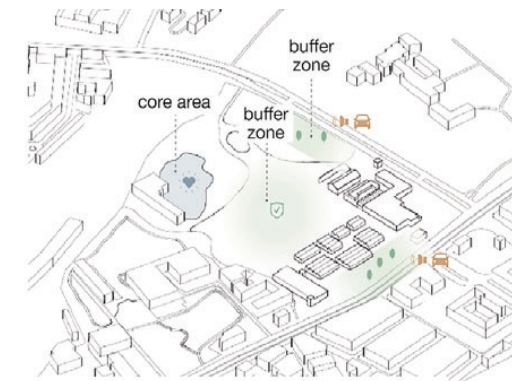
5. ISOMETRIC VIEW | 1930s-1980s



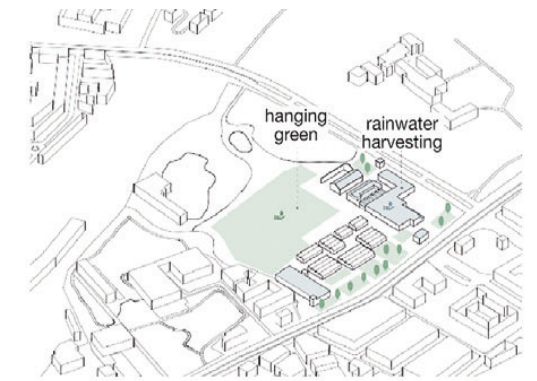
6. ISOMETRIC VIEW | existing



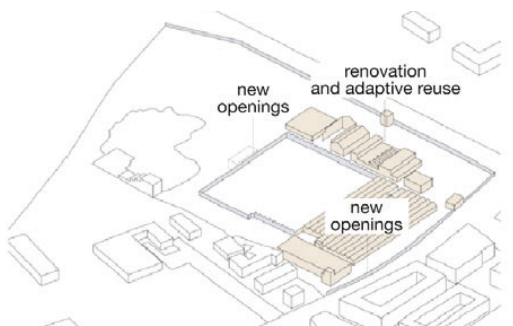
The area where the former factory buildings are located is inaccessible because it is bounded by a wall that does not allow its use. The connection with the adjacent Energy Park is hindered by a natural slope of the terrain.



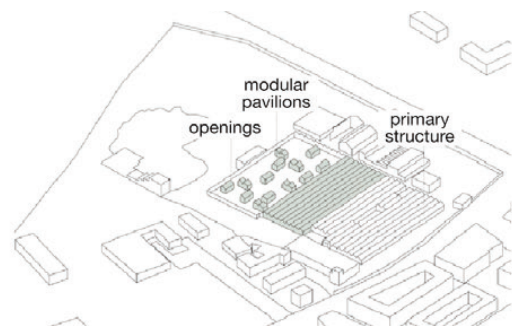
The subdivision into a core area represented by the lake and buffer zones: the former peripheral bounded by a buffer strip that filters noise and environmental pollution; the latter, more inland, in a central zone as a protection zone for the lake and biodiversity reproduction.



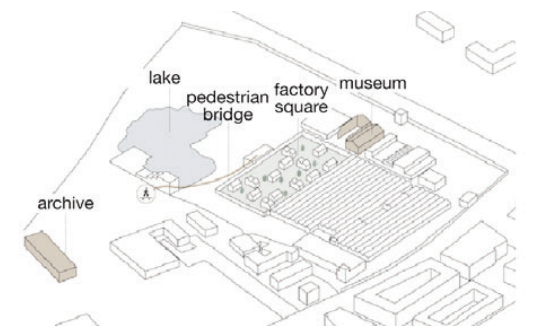
The former two belts compose the stormwater collection system at ground level allowing the reduction of run-off and overloading of the sewer system.



Preserving the essence of the past, these revamped buildings become dynamic spaces, breathing new life into cherished heritage while serving contemporary needs.



Transformative architecture integrates modular pavilions with the central structure, marrying traditional grandeur and contemporary aesthetics for a visually striking environment.



Linking Energy Park, Historical Archive of Ex SNIA Viscosa and the Museum via pedestrian bridges through the shopping center remains. A square in front of the main building connects to Lake Bullicante, seamlessly blending urban and natural spaces.

Fig. 4 | Reconstruction of the main historical phases of transformation of the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

Fig. 5 | Design hypothesis for creating a hub to support the urban food value chain (credit: the Authors, 2023).

Fig. 6 | Design hypothesis for the creation of a hub to support an urban and circular textile production value chain (credit: the Authors, 2023).

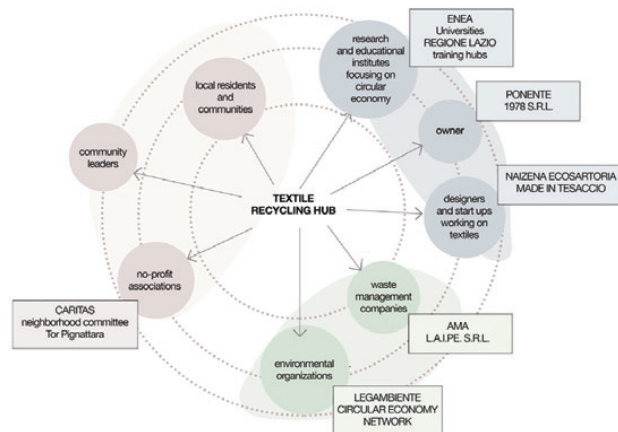
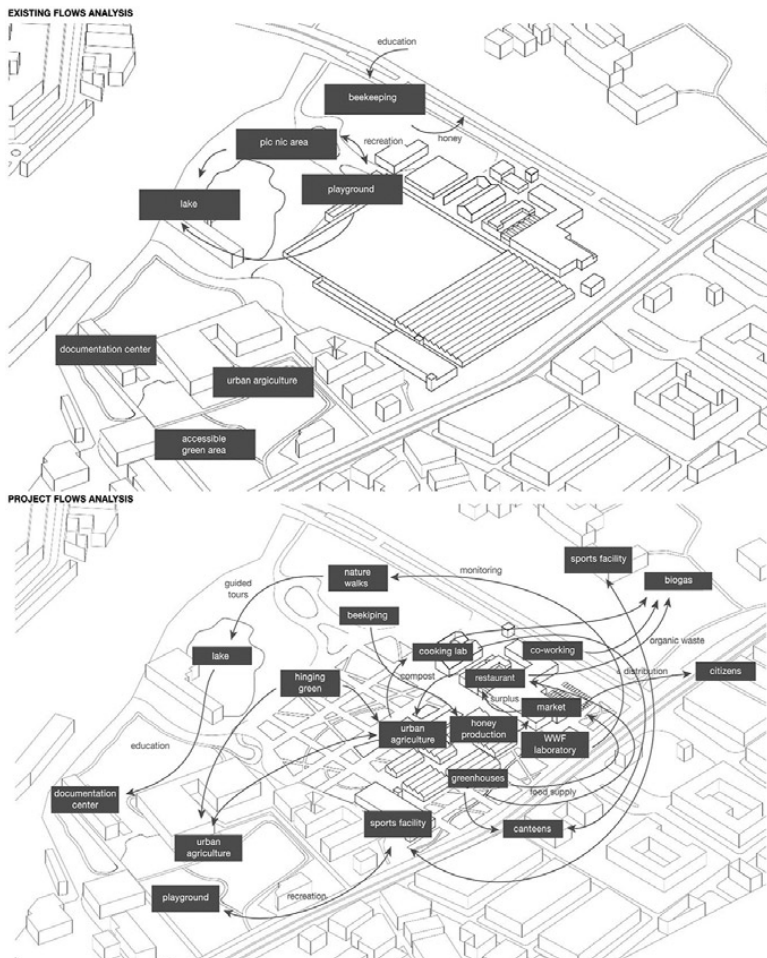


Fig. 7 | Analysis of flows in the Ex SNIA area: current and project (credit: the Authors, 2023).

Fig. 8 | List of stakeholders of interest in the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

Fig. 9 | Innovative hub for recycling and social connection (credit: the Authors, 2023).

risorse energetiche, è capace di identificare le inefficienze dovute all'uso di energia e può essere espresso anche come quantità di energia non rinnovabile sull'energia totale necessaria per la realizzazione di un prodotto.

Nello scenario di trasformazione dell'ex SNIA in hub per la produzione agricola, ad esempio, si decostruiscono / demoliscono circa 4.500 tonnellate di materiali, delle quali il 94% viene reimpiegato, tramite riuso o riciclo, nella rigenerazione del sito e del complesso edilizio. Nel caso delle componenti metalliche (1.800 metri lineari di profili smontati decostruendo le capriate di supporto degli shed ormai crollati della copertura della fabbrica sono stati riusati sul posto per realizzare la struttura di supporto dei pannelli di policarbonato dell'involucro delle serre idroponiche) si consideri che, sul totale del metallo impiegato per realizzare la struttura delle serre, la percentuale di materie prime da riuso è pari all'85%, mentre quella di risorse materiche riciclabili è pari al 100%; l'energia incorporata nei componenti in ferro oggetto di riuso è stimata in circa 2 milioni di MJ.

Con riferimento alle 'risorse energetiche', a partire dagli obiettivi specifici di produrre energia da fonte energetica rinnovabile e, al tempo stesso, di dare vita a un sistema che punti all'eliminazione degli sprechi alimentari e dei rifiuti organici presenti nell'area dell'ex SNIA, in ottica net-zero, le strategie e le azioni tecniche prevedono la destinazione dei rifiuti organici agli impianti di biogas, al fine di produrre energia elettrica e termica utile in loco e nelle aree limitrofe, e l'installazione di pannelli fotovoltaici e collettori solari integrati nelle coperture degli edifici, opportunamente dimensionati e orientati.

Le strategie di circolarità esplicitate in Figura 11 permettono di calcolare gli indicatori di circolarità di:

- 'accumulo, stoccaggio e riuso energetico'; questo indicatore misura la quantità di energia accumulata e stoccata, che consente il riuso di tale risorsa generata da varie fonti rinnovabili per riutilizzarla quando c'è maggiore richiesta o per garantire al contempo la continuità in caso di blackout o altre emergenze, misurata rispetto alla produzione energetica (termica ed elettrica) globale; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato livello di riuso energetico;
- 'produzione energetica da fonte energetica rinnovabile'; questo indicatore è volto a misurare la quantità di energia (termica ed elettrica) prodotta da fonte energetica rinnovabile, calcolata in percentuale rispetto alla produzione energetica totale utilizzata nell'area di intervento; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato apporto da fonte energetica rinnovabile.

Nel caso specifico dell'indicatore della produzione energetica da fonte rinnovabile, per la componente elettrica la percentuale di circolarità corrisponde al 97%, di cui il 63% da sistemi fotovoltaici integrati in copertura e il restante 34% da impianto di cogenerazione alimentato a biometano (derivante dalla trasformazione da biogas tramite biodigestore) mentre per la componente termica l'indicatore della produzione energetica da fonte rinnovabile corrisponde al 79%, a copertura del fabbisogno termico per la climatizzazione invernale ed estiva e la produzione di ACS.

In merito ai sistemi di accumulo e stoccaggio finalizzati al riuso energetico, le batterie a servizio

delle attività industriali offrono una vasta gamma di opzioni di accumulo di energia elettrica, da pochi kW a diversi MW, e forniscono energia elettrica continua per molte ore, a seconda della potenza richiesta; per questa ragione l'indicatore di circolarità di accumulo, stoccaggio e riuso energetico equivale al 100%, ovvero alla copertura dell'intero fabbisogno energetico elettrico per oltre 24h di attività continuata.

Con riferimento alle 'risorse idriche', a partire dall'obiettivo di massimizzazione del ruolo della risorsa idrica nel raggiungimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico e di decarbonizzazione e dagli obiettivi specifici di ridurre il deflusso, sfruttando le acque reflue e meteoriche come risorse per l'irrigazione delle aree verdi nell'area dell'ex SNIA, in ottica net-zero, le strategie e le azioni tecniche prevedono l'attuazione di processi di raccolta-recupero-riuso delle acque reflue e meteoriche mediante il convogliamento delle acque provenienti da superfici scolanti non soggette ad inquinamento nella rete delle acque meteoriche e in vasche di raccolta, l'installazione di impianti separati di recupero delle acque meteoriche e delle acque reflue (grigie e nere).

Le strategie di circolarità esplicitate in Figura 12 permettono di calcolare gli indicatori di circolarità di:

- 'accumulo, stoccaggio e riuso delle acque meteoriche'; questo indicatore misura la quantità di risorsa idrica provenienti dalle coperture degli edifici o da qualsiasi altra superficie, incanalata verso impianti che prevedono la raccolta, il filtraggio (l'eventuale trattamento, se necessario) e il riutilizzo delle acque meteoriche per attività che, tipica-

mente, non richiedano una qualità delle acque che rispetti i criteri di potabilità; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore garantisce un livello elevato di circolarità della risorsa idrica piovana;

– ‘accumulo, stoccaggio e riuso delle acque reflue’ (grigie e nere); questo indicatore misura la presenza e l’efficacia di impianti atti a garantire la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi ‘secondari’ delle acque grigie provenienti da lavabi, vasche e, in alcuni casi, dalle condense degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva; esso misura, inoltre, separatamente la presenza e l’efficacia di impianti atti a garantire la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi ‘secondari’ delle acque nere; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore garantisce un livello elevato di circolarità dei reflui.

Conclusioni e prospettive di ricerca | L’impatto della ricerca sulla Comunità Scientifica, colmando un evidente gap nell’interpretazione del patrimonio industriale come risorsa dal duplice valore, non solo culturale e spaziale, ma anche materico ed energetico, determina un avanzamento delle conoscenze legate all’intervento sull’esistente e nell’esistente, attraverso la costruzione di un approccio complesso al riuso adattivo, orientato alla neutralità climatica e all’uso efficiente e circolare delle risorse, coerente con il Green Building Approach.

Obiettivo prioritario è lo sviluppo di un approccio circolare al riuso adattivo di siti industriali, in contesti fragili, per la costruzione di metodologie di intervento low carbon-low energy, la definizione di sistemi di valutazione del progetto circolare, ecologico ed energetico, in un quadro operativo integrato di tecnologie tradizionali e innovative. Innovativo, rispetto alle sperimentazioni contemporanee, è l’approccio olistico che legge le interazioni tra i flussi di risorse caratterizzanti il sito, confluenti nell’organismo edilizio e diffusi nel contesto: la visione circolare dei flussi di risorse materiche, energetiche ed ecologiche permea il sistema tessuto-edificio-componente nel progetto adattivo dell’esistente.

I limiti più evidenti sono determinati dalla complessità dell’implementazione degli approcci multidisciplinari in un sistema operativo multicriteriale che emerge soprattutto in fase di valutazione dei livelli di circolarità. I sistemi di indicatori fanno riferimento a sistemi multiscalarari, coerenti con le diverse componenti dei siti industriali, la cui applicazione mostra indici eterogenei, non sempre applicabili in modalità semplificata.

La metodologia operativa, messa a punto nella ricerca, apre anche al coinvolgimento della comunità locale, a partire dalla mappatura delle esigenze posta alla base del progetto attraverso processi proattivi, anche per l’attivazione di iniziative di industria creativa come forme di conservazione delle risorse ecologiche, energetiche e materiche in un ecosistema circolare.

Le prospettive di ricerca sono orientate su due livelli: la progressiva sistematizzazione dei risultati, ottenuti nelle sperimentazioni per scenari sviluppate sui diversi casi esaminati attraverso una sintesi critica degli esiti, permette di estrapolare indirizzi operativi, da strutturare in forma di linea guida per il progetto e da sottoporre a stazioni appaltanti pubbliche e Agenzie di gestione del patrimonio, come il Demanio; l’approfondimen-

to dei sistemi di valutazione della circolarità delle soluzioni adottate, confrontando indicatori, indici e protocolli specifici, permette inoltre di elaborare un modello specifico per le strategie di riuso adattivo circolare, anche sulla base di trasferimenti di approcci complessi (come il Sustainable Circular Index) con la combinazione di più indicatori, per comprendere gli effetti dei processi in un’ottica di Life Cycle Thinking.

In line with the 2030 Climate Target Plan (European Commission, 2020a) and the ‘Fit for 55’ targets (European Commission, 2021), the new growth strategy aims to achieve a resource-efficient Europe (European Commission, 2019, 2020b), in which energy systems are based on renewable sources and consumption and emissions reductions are driven by the efficiency of the building stock (European Commission, 2019; The European Parliament and the Council of the European Union, 2018a, 2018b). Within this context, disused industrial heritage sites represent a strategic resource to be reinterpreted with respect to the goals of energy transition and circular economy. In particular, the adaptive reuse of industrial architecture creates a triggering condition for new cycles – through regeneration actions that originate from the historical-economic and sociocultural relevance of the site for the territory (Battisti, 2001; EURES, 2019; Gustafsson, 2019) – to identify new functionalities, enhancing the heritage to put it at the service of the local community while reducing environmental impacts.

According to the Leeuwarden Charter (ACE, 2018), the adaptive reuse of the built heritage entails specific challenges, from a lifecycle perspective, that activate, when confronted with the existing of documentary value (Douet, 2022; Baiani, Turchetti and Romano, 2024), medium- and long-term processes capable of fostering and ensuring participatory approaches, innovation and quality in design, flexibility and adaptability in uses, with a multidisciplinary vision, while ensuring its complete financial sustainability. New life cycles can result in circular processes intrinsic to the intervention, involving materials and components for preservation / reuse during the reactivation phases, or circular processes induced by the adaptive reuse of the former industrial site; circular processes which persist over time and extend to the territory, amplifying its effect.

The experimental approach, directed toward circular and adaptive reuse (Gravagnuolo, Angelis and Iodice, 2019), is measured through interventions to preserve the memory of original activities, productive architectures and the industrial site (Baiani, Altamura and Giordano, 2022; Baiani et alii, 2023) that fit within current and potential flows, both material and immaterial (ARUP, 2016; Ghisellini, Ripa and Ulgiati, 2018), for the realisation of a circular ecosystem aimed at zero-emission energy production from waste or refuse, reuse of components and materials from deconstruction, as well as ‘reversible building design’.

Research approach and objectives | In accordance with experiments in circular and climate-neutral cities (UNEP, 2012; EU Water Alliance, 2020; WEF, 2021), a design approach in terms of lifecycle and zero emissions outlines strategies and techni-

cal options for integrated intervention on three significant flows: material, energy and ecological. The interpretation of resource flows, with a view to optimisation and local closing of cycles (Potting et alii, 2017; Van Buren et alii, 2016; Ghisellini, Cialani and Ulgiati, 2016; McKinsey&Company, 2015), identifies explicitly strategic flows for the reactivation of production functions in industrial complexes, also in relation to additional supply chains characterising the fabric, adopting model business models and innovative technologies oriented to the circular economy.

The material component is returned by type-techno-constructive analysis of the existing built environment, which – in addition to attesting to its testimonial value – estimates the stock of materials and its embedded value of energy and climate-altering emissions (Luciano et alii, 2023) for an assessment of the impact of adaptive enhancement and reuse actions, at the building and component scales. This aspect results in subtraction or addition logic aimed at dematerialisation goals and reduction of embodied energy.

Circularity and energy efficiency (ARUP, 2020) enhance the waste and refuse streams of urban settlements (Ranjbari et alii, 2022), complementing the organic component with residues from wastewater treatment plants, which harbour unexpressed potential (Liu et alii, 2020). Water flows, where surface, groundwater, or reclaimed water is an energy resource in a geothermal context (Bayer et alii, 2019) or a second-life resource through wastewater collection-recovery-reuse processes, are integrated to achieve climate change mitigation (EEA, 2019, 2022) and decarbonisation goals (Plucienik-Koropczuk, Myszograj and Mąkowski, 2022; Romano et alii, 2023) linked to the City Water Resilience Approach (Rockefeller Foundation et alii, 2019).

Starting with circular approaches, the methodology development then focuses on articulated experimentation, for which the contribution presents a pilot case – the area of the Ex SNIA Viscosa in Rome, the most complex of the sites identified in the research activities – in which two ‘circular adaptive reuse’ scenarios are compared. The site, a significant witness to the history of the textile industry of the 1920s-30s, is located in a particular and environmentally fragile urban context with a strong landscape value, traversed by significant flows of material, ecological and energy resources.

Compared to the state of the art, the research leads to a more articulated definition of an adaptive reuse intervention of industrial heritage in relation to a logic of circularity of flows and non-renewable resources toward an energy and ecological transition, placing itself in line with the H2020 CLIC¹ Project – which applies circular economy principles to Cultural Heritage for environmentally, socially, culturally, and economically sustainable urban / territorial development (Foster, 2020) – by broadening the vision from building to site. In the application of urban mining principles, overcoming definitional logic on the subject represents the trigger for an interdisciplinary vision that changes the meaning of divestment processes, a condition for initiating new cycles.

Research methodology | The adopted methodology is non-scalar – relying on circularity strategies that act from the territorial dimension to that of the

Circularity Level	Circularity Indicator
Material resources and components	Use of materials from reused or recycled sources
	Reuse of material resources and components
	Recycling of material resources and components
	Embodied energy in materials
	Embodied carbon in materials
Energy resources	Energy accumulation, storage and reuse
	Energy production from renewable energy sources
	Electrical energy demand
Water resources	Thermal energy demand
	Accumulation, storage and reuse of rainwater
	Wastewater accumulation, storage and reuse (grey and black)
	Water footprint
Waste	Water demand for indoor use
	Water demand for outdoor use
CO ₂ emissions (use stage carbon)	Waste production
	Waste recovery
	CO ₂ emissions linked to total water demand
	CO ₂ emissions related to energy production (electricity and heat)
	CO ₂ emissions related to waste production

Tab. 2 | Framework of Levels and Indicators of Circularity (credit: the Authors, 2023).

building component – intersectoral and interdisciplinary; it is structured in four steps, the second of which was experimental, and was carried out, over time, in an iterative manner. The structure of the operational steps is as follows.

A cognitive Phase 1) focuses on: 1.1) a review of thematic international literature for defining approaches, strategies and systems for evaluating circularity in the design of the existing; 1.2) the collection, selection and comparison of exemplary best practices (for defining site characters, production architectures and operations adopted in the transformation); 1.3) the identification of pilot cases for experimentation, differentiated from the type-techno-morphological and geographical point of view.

Phase 2) Experimentation on different sites, identified in Phase 1.3, consists of: 2.1) the knowledge of the historical evolution of fabrics, productive architectures and local supply chains; construction of the microclimatic, biophysical and morphological context conditions of the sites; 2.2) the mapping of the existing and potential resource flows, which cross the different sites; 2.3) the identification and consultation of stakeholders; 2.4) the definition of the functional program and verification of potential unexpressed demands; 2.5) an in-depth study of the morphological-constructive approach strategy (emptying/densification). The pilot cases investigated in the experimental / application phase of the research include profoundly different sites: the former Mira-Lanza in Rome (Baiani, Altamura and Giordano, 2022); the ATAC garages in Piazza Ragusa (Luciano et alii, 2023) and Piazza Bainsizza in Rome; the waste-to-energy plants in Colleferro (Baiani, Altamura and Rossini, 2023); the former SAI in Passignano sul Trasimeno (Baiani, Turchetti and Romano, 2024); the former SITOCO in Orbetello; the former Hangar Rossi on Lake Bracciano; and the Mayfield railway and textile manufacturing site in Manchester (Pedata, Altamura and Rossi, 2024). Knowledge and mapping steps were tested on the sites, verifying the systemic ways of reading ma-

terial and immaterial flows developed from approaches related to urban metabolism. Specifically, at each site, a preliminary material stock estimation was carried out (Luciano et alii, 2023) to understand the pre-existing environmental value in terms of embodied energy and carbon.

Phase 3) Evaluation of the levels of circularity achieved in the adaptive reuse scenarios was developed through the construction of a framework of specific indicators (investigated in Phase 1.1), while Phase 4) Critical Synthesis is concerned with analysing the results of the experiments and structuring directions for the ‘circular adaptive reuse’ of the industrial heritage.

In the best practices analysed (Fig. 1) and in projects conducted by the Research Group on case applications (Fig. 2), the theme of ‘gap reintegration’ was addressed by placing concepts of intensification and deconstruction alongside the theme of protection, guided by critical selection and choice. The two dichotomous terms define a specific condition of the brownfield site, which, while retaining the essential and connotative characteristics of the heritage site, is transformed by a process of naturalisation activated by vegetation, which takes over the built environment and retains the ability to reconnect the textures of the existing, creating new systems of connection, in synergy with historical remains.

International references and best practices |

Starting from an advanced cognitive stage, based on a review of the international literature on the concepts of adaptive reuse of industrial assets related to the concepts of circularity and resilience (De Gregorio et alii, 2020; De Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) Phase 1.2 of the research saw the construction of an analytical-assessment comparison framework (Tab. 1) of best practices including but not limited to C-Mine in Genk (Belgium), Lottozero in Prato (Italy), Gare Maritime in Brussels (Belgium), Juili Workspace Creative Industrial Center in Shang-

hai (China) and Aalto Siilo in Oulu (Finland). The cases were selected and mapped by considering the use of circular processes in the context of conservation and adaptive reuse activities, or the activation of circular processes ‘through’ and ‘downstream’ of the intervention.

The case of the Winterslag coal mine transformed into C-Mine (2010) represents a cornerstone of the sustainability-oriented adaptive reuse approach with an emphasis on social and economic aspects. The project featured a participatory process that mapped out uses and stakeholders, leading to the creation of open spaces for use by the local community and various other users. The significant and impactful mining site has been converted into a hub for the creative industry, which also houses a concert hall, a food hall, exhibition spaces and tourist fruition services. The adaptive reuse project saw the preservation of machinery and materials, with an approach focused on the circularity of materials and resources limited to a few items, such as flooring components.

Similarly, albeit on a much smaller scale, the Lottozero project in Prato in 2016 saw the adaptive reuse of a 1950s food and beverage wholesale warehouse aimed at activating a hub for textile research in design, fashion and art. In line with the goals of circularity, what is interesting is not so much the strategy of preservation and enhancement of materials and building characters in the warehouse, but rather the activation of circular economy processes for the local textile supply chain, with the creation of spaces to support research activities on waste materials.

In contrast, the other three case studies represent more consciously oriented approaches towards the energy and circular transition. In particular, the Gare Maritime in Brussels, an early 20th-century freight traffic station, has seen a radical transformation into a multipurpose space (offices and retail space) with processes characterised by the recovery and reuse of stone components from the surrounding docks for the building’s façade and floors, but also by the extensive use of reversible and low-carbon wood building systems. In addition, the project featured extensive architectural integration of photovoltaics (BIPV) in the windows, the use of passive energy-saving solutions, including heat recovery, and the activation of a closed rainwater cycle.

Through a similar approach, the Juili Workspace Creative Industrial Center in Shanghai was transformed from a logistics and warehousing company’s warehouse into a Creative Industry Center open to the local community with offices and services. The intervention involved the recovery and reuse of containers and bricks, integrated into the adaptive reuse project, while at the same time activating passive heating and natural lighting solutions.

Finally, the recovery project of the Aalto Siilo, a 1930s signature building that was part of the Topila pulp mill industrial complex in operation until the late 1980s, represents a fully circular approach to the adaptive reuse of industrial heritage. This example, although reduced to the scale of a few buildings and predominantly centered on the silo itself, saw the designers adopt a design strategy clearly aimed at the energy and circular transition, in an integrated way and with a culturally highly participatory process, thanks to the involvement of the Fac-

Technical element and component / material		Technical actions downstream of selective demolition or deconstruction	Detailed description
External infill masonry	Plaster	On-site recycling	The component is demolished and reused as a substrate for the external paving
	Bricks	On-site reuse	External brick infill masonry is removed to be reused for new masonry
Load-bearing structure	Concrete pillar	On-site reuse	Some pillars are removed to be reused as supports for greenhouse pots and obstacles for trial-bike paths
	Concrete beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as supports for the greenhouse pots and obstacles for the trial-bike trails
	Reticular beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as support structures for the outer envelope of greenhouses
	Shed beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as support structures for the outer envelope of greenhouses
Intermediate slab	Plaster	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
	Hollow flooring block	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
	Concrete slab	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
External window or doorframes	Metal frame	On-site reuse	The frames are in a good state of preservation, therefore they are retained
	Glass pane	Off-site recycling	Removal of the glass panes because they are heavily fragmented

Tab. 3 | Overview of actions aimed at circular use of components / materials downstream of selective demolition / deconstruction of technical elements in the first project scenario on the Ex SNIA (credit: the Authors, 2023).

tum Foundation. The key objective was to reactivate the complex through a functional mix, featuring a cultural centre, public sauna, research and office space. Once again, the adaptive reuse process is characterised by the recovery and reuse of wood components from the silo and concrete elements from the building and surrounding buildings; at the same time, new energy production from renewables is activated, making parallel use of heat recovery, to power the sauna, as well as water recovery.

As stated in the research objectives, the approach tested in the pilot cases differs from those found in best practices either because of the complexity and/or size of the sites under consideration, but also for the nature of the contexts, characterised in several cases by fragile environmental conditions, as well as for the systemic reading of resource flows upstream of the very definition of design strategies, and for the attempt to structure a holistic framework of solutions for the energetic and circular transition of the heritage, consistent with the need to preserve the memory of the place and the original productive activities, but driven toward the activation of circular processes, induced by the adaptive reuse intervention itself, that reverberate on the territory around the site.

The experimental approach, therefore, envisages a circular vision in which closed-loop processes characterise both adaptive reuse interventions and the behaviour of the regenerated complex throughout its useful life, supporting efficient and circular management of all resource flows, whether material, energy, water, but also immaterial, cultural, economic and social.

Scenarios of 'circular adaptive reuse' of the Ex SNIA Viscosa | In the pilot case, the area of the Ex SNIA Viscosa in Rome (Fig. 3), two scenarios of 'circular adaptive reuse' based on deconstruction and intensification are tested, analysing their different declinations in the logics of energy, ecological and digital transition of the urban system. The site, significant historical evidence of the textile industry of the 1920s-1930s in which cellulose yarn (Viscosa) was produced, and completely decommissioned in 1955, is part of a fragile environmental context, with a strong naturalistic and landscape

value, which is identified in documents of the Regional Territorial Landscape Plan (PTPR) as an area of considerable public interest (PTPR, 'Carta della Qualità del PRG', according to Art. 134 and 136 of Italian Legislative Decree 42/2004), an urban area subject, over time, to rehabilitation and redevelopment projects. The factory's production system stands next to the existing Energy Park, in an area characterised by a lake created during excavation to construct a commercial complex (never completed) and supplied by spring water from the Maranella ditch (Fig. 4).

In the two scenarios, the intervention investigates different operational actions guided by logics of addition or subtraction with selective deconstruction, consistent with the typological modularity and constructive seriality of the industrial heritage, for the definition of integrated solutions for the energetic, ecological and digital transition (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023), through the adoption of responsive and adaptive systems that are integrated, with more conservative logic in one case and more transformative in the other. On the one hand, the main efforts focus on the flows of energy, water, production waste, and waste by setting up a textile waste recovery hub to produce semi-finished products for various supply chains. On the other hand, plant resources and residual biomass, energy flows, and materials have been utilised to create an urban agriculture hub, production, sales, and consumption network with neighbourhood markets in the urban sector to limit food waste, transportation, and related CO₂ emissions.

Based on the two approaches, in the first case, the adaptive reuse process is aimed at the preservation and reuse of specific structures of the industrial system, that is, the historical part of the complex, for the activation of the urban agribusiness chain, capable of enhancing the symbiotic exchange between man and nature in a place that has been undergoing a re-naturalization process for several years. This reactivates existing flows and supply chains in the area, returning them to the brownfield site in continuity with horticultural activities in the Energy Park.

In the second case, the adaptive reuse process is aimed at the densification of the built environment, intervening according to a logic of intensifi-

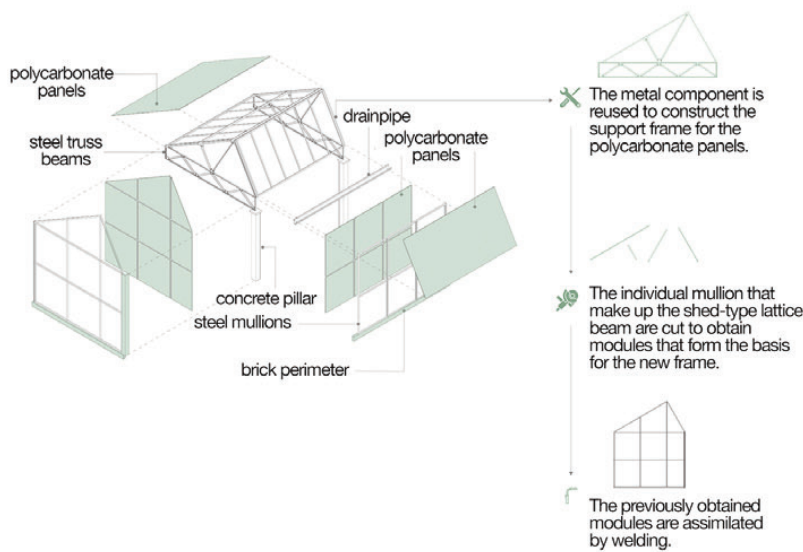
cation that enhances the connections and spatiality of the existing, tracing the lost factory site and integrating, through lightweight and disassemblable structures, a new textile production that, in line with the original production vocation, reconstructs and integrates different waste textile flows from the area, to create a hub for the practice of reuse and mechanical recycling of textile fibres.

The two circular approaches, exemplified in the development of design hypotheses at the concept level (Fig. 5, 6), highlight different logics, intervening dichotomously in the process of reintegrating the gap: a) maintaining the existing 'gap', implementing it and returning the site to its natural layout (with appropriate remediation scenarios) in the expectation of hosting an agri-food hub that experiments, in the urban context, with hydroponic and aquaponic systems, integrating them with naturalistic components and urban gardens in the wide area; b) integrating the built with lightweight and disassemblable technological solutions that redefine the factory's volumetry, hosting a textile hub (from production, to recovery, to training) in continuity with the viscose production process.

The concept definition processes stem from an integrated and complex reading of the various resource flows, which sees, on the one hand, the valorisation of plant resources, residual biomass, energy and material flows, with the realisation of a hub for urban agriculture (network of production, sale and consumption with the district markets of the urban sector, aimed at limiting food waste, transportation and related CO₂ emissions), and on the other hand, a project developed on the flows of energy, water, production waste and waste, with the realisation of a hub for the recovery of textile waste for the production of semi-finished products destined for different supply chains, considering the logic of recovery, reuse, and recycling of resources from the lot or sites bordering it, from the built environment or existing or integrated production processes (Fig. 7).

In the two design scenarios, the processes of mapping materials and resource flows are consistent with the modularity and seriality of industrial assets. Adaptive reuse design, in its technological-environmental approach and lifecycle perspective, layers responsive and adaptive systems that inte-

SCHEMATIC DIAGRAM OF MATERIAL REUSE



CIRCULARITY STRATEGIES

MATERIALS

Objective: Limit the CO₂ emissions associated with new materials and the related processes by taking advantage of the materials the buildings in the area are composed of.

How:

by cataloguing existing materials;
by providing for on- and off-site reuse and recycling processes.

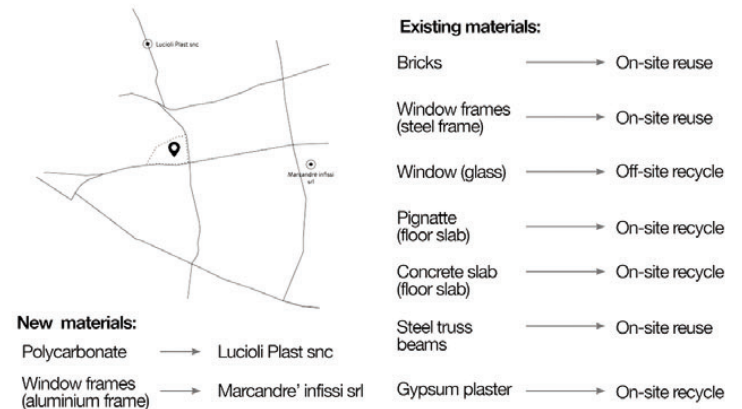


Fig. 10 | Outline of circularity strategies applied to components and materials, with the hypothesis of reusing metal components (credit: the Authors, 2023).

grate – in one case with a more conservative logic, in the other with a more transformative approach – with the existing, exemplifying Transition Design operations (Irwin, 2018), capable of addressing critical issues systemically, to build and nurture a relationship of strategic complementarity between ecology, energy, and digital.

Through participatory processes, the ‘circular adaptive reuse’ scenarios also intend to engage the community, among the relevant stakeholders in the mapping process intended to read the needs underlying the project and translate them into concrete outputs toward an (also digital) transition of the identified flows and supply chains (Fig. 8). The reactivation processes of industrial sites, following a non-scalar, interdisciplinary and intersectoral methodology, focus on a phase of analysis and knowledge of present and potential resource flows (material and immaterial, internal and external). This phase is preparatory, in parallel, to the reactivation of the productive or production / cultural functionalities of the areas and the identification of additional potential and characterising chains / flows of the territory, to which the site can contribute to the balance from a material, energy and economic point of view, towards a circular economy-oriented innovative business models and technologies (Fig. 9).

Evaluation of circularity levels achieved in adaptive reuse scenarios

The measurement of the Level of Circularity (LoC) achieved over time, consistent with the effectiveness of applied strategies, is constructed based on specific dimensions of sustainability related to material resources and technical components, energy and water resources, waste and emissions (UNI/TS 11820: 2022; Material Circularity Indicator, Reuse Potential Indicator, Sustainable Circular Index). Each dimension implies a set of indicators representing the share of circular materials, renewable energy, water recovered and reused, and waste sent for recycling, compared to the total used in the production of the product and quantified over the product’s life cycle (Tab. 2). The single or composite indicators considered were se-

lected referencing micro (product), meso (building) and macro (fabric) levels of application and in relation to the strategic 6Rs (Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recover).

Measuring the level of circularity is also essential when calculating impacts and adopting measures to mitigate, reduce and offset climate-changing emissions to improve the environmental performance of building systems. The main strategies and technical actions implemented in the case of the Ex SNIA are given as non-exhaustive examples, in the two ‘circular adaptive reuse’ scenarios. Only some of the circularity indicators evaluated to verify the effectiveness of the intervention on material, energy and ecological flows are mentioned with the related results.

Regarding ‘material resources and technical components’, with the specific objective of limiting the CO₂ emissions associated with the use of new materials and related processes, the components of the buildings in the former SNIA area are reused through selective demolition processes, cataloguing of existing materials, and provision for on-site and off-site reuse and recycling, as detailed in Table 3. For example, the metal components of the supporting structure, with a view to deconstruction and circular design, are reused to build the support frame for the polycarbonate panels enclosing the new greenhouses; the metal profiles that make up the ‘shed’-type lattice beam are cut to make modules that will form the basis for the new framework; and the new components are assembled and connected by welding.

The circularity strategies expressed and summarised in Figure 10 allow the following circularity indicators to be calculated:

– ‘use of raw materials from re-used or recycled sources’; this indicator measures and refers to materials derived from recovery, reuse and recycling processes, remanufacturing or transformation of existing products; these materials are then processed and transformed into new raw materials that can be used, in turn for the production of new products or components; the amount of secondary

raw materials is compared to the overall amount of material used to calculate the circularity indicator; a high percentage as a result of this indicator implies a high level of use of raw materials from reused or recycled sources;

– ‘recycling of material resources and components’; this indicator measures the management of material resources or components once they have become waste, with particular reference to the amount of material that can be recycled, calculated as a percentage ratio to the overall amount of material resources or components used; the higher the percentage derived from the calculation of this indicator, the higher the percentage of material resources or components that can be recycled;

– ‘energy embodied in materials’; this indicator measures the sum of energy flows, direct and indirect, required to produce a product or component, indicating how much energy is embodied in the product itself; it is an indicator that, straddling the levels of circularity of material and component resources and those of energy resources, is capable of identifying inefficiencies due to energy use and can also be expressed as the amount of non-renewable energy out of the total energy required to produce a product.

The transformation scenario of the Ex SNIA into a hub for agricultural production, for example, sees the deconstruction/demolition of about 4,500 tons of materials, of which 94% is reused, through reuse or recycling, in the regeneration of the site and building complex. Concerning metal components (1,800 linear meters of profiles disassembled by deconstructing the support trusses of the now collapsed sheds of the factory roof were reused on-site to make the support structure of the polycarbonate panels of the hydroponics greenhouse envelope), it should be noted that the percentage of raw materials from reuse is 85% of the total metal used to make the structure of the greenhouses, while that of recyclable material resources is 100%; the energy incorporated in the reused iron components is estimated to be about 2 million MJ.

Regarding ‘energy resources’, starting from the

specific objectives of producing energy from renewable energy sources and, at the same time, establishing a system that aims to eliminate food waste and organic waste in the area of the Ex SNIA, with a net-zero perspective, the strategies and technical actions include the allocation of organic waste to biogas plants, to produce useful electric and thermal energy on-site and in the surrounding areas, and the installation of photovoltaic panels and solar collectors integrated in the roofs of the buildings, appropriately sized and oriented.

The circularity strategies pictured in Figure 11 make it possible to calculate the circularity indicators for:

– ‘energy accumulation, storage, and reuse’; this indicator measures the amount of energy accumulated and stored, which enables the reuse of this resource generated from various renewable sources to reuse it when there is greater demand or at the same time to ensure continuity in the event of black-outs or other emergencies, measured in relation to

overall energy (heat and electricity) production; a high percentage as a result of this indicator implies a high level of energy reuse;

– ‘energy production from renewable energy sources’; this indicator is intended to measure the amount of energy (heat and electricity) produced from renewable energy sources, calculated as a percentage of the total energy production used in the intervention area; a high percentage as a result of this indicator implies a high input from renewable energy sources.

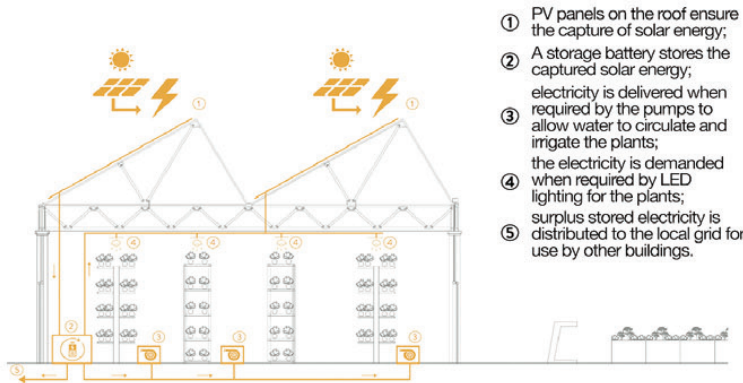
In the specific case of the indicator related to energy production from renewable sources, the percentage of circularity for the electrical component corresponds to 97%, of which 63% is from roof-integrated photovoltaic systems and the remaining 34% is from cogeneration plant fuelled by biomethane (resulting from the transformation from biogas through biodigester) while for the thermal component, the energy production from renewable source indicator corresponds to 79%, covering the

heating needs for winter and summer air conditioning and DHW production.

Regarding storage and accumulation systems aimed at energy reuse, batteries serving industrial activities offer a wide range of electric energy storage options, from a few kW to several MW, and provide continuous electric energy for many hours, depending on the required power. For this reason, the circularity indicator of energy storage, accumulation, and reuse is equivalent to 100%, i.e., covering the entire electric energy demand for more than 24 hours of continuous activity.

With reference to ‘water resources’, starting from the goal of maximising the role of the water resource in achieving climate change mitigation and decarbonisation targets, and the specific objectives of reducing runoff by utilising wastewater and stormwater as resources for irrigation of green areas in the Ex SNIA area, with a net-zero perspective, strategies and technical actions provide for the implementation of wastewater and stormwater col-

SCHEMATIC DIAGRAM OF OPERATION OF SOLAR THERMAL AND ELECTRIC POWER PLANTS



- ① PV panels on the roof ensure the capture of solar energy;
- ② A storage battery stores the captured solar energy;
- ③ electricity is delivered when required by the pumps to allow water to circulate and irrigate the plants;
- ④ the electricity is demanded when required by LED lighting for the plants;
- ⑤ surplus stored electricity is distributed to the local grid for use by other buildings.

CIRCULARITY STRATEGIES

FOOD, WASTE AND ENERGY

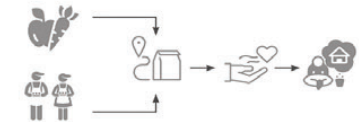
Objective: bring to life a system that aims to eliminate food waste, transforming food chain waste/waste into usable resources for soil fertilization (compost) and energy production (biogas), coping with the growing food needs of an ever-expanding population.

How:

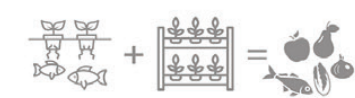


By allocating organic waste to biogas plants in Latium to produce electricity and thermal energy usable for the city and to obtain compost usable as fertilizer for urban agriculture.

By eliminating emissions and food spoilage during transport, since production and consumption take place on-site.

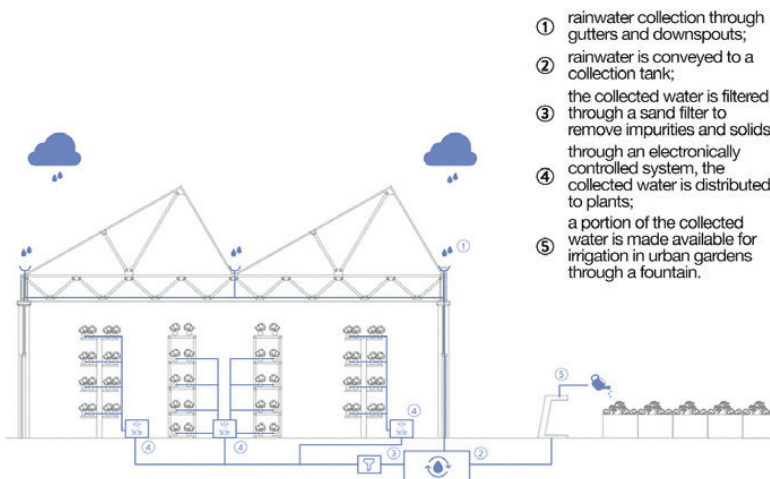


By allocating the production that is not sold daily and the preparations that take place in the kitchen laboratory to contracted canteens.



By adopting technologies for maximizing the quantity and efficiency of food production such as hydroponics and aquaponics type cultivation.

STORMWATER COLLECTION AND REUSE SCHEME



- ① rainwater collection through gutters and downspouts;
- ② rainwater is conveyed to a collection tank;
- ③ the collected water is filtered through a sand filter to remove impurities and solids;
- ④ through an electronically controlled system, the collected water is distributed to plants;
- ⑤ a portion of the collected water is made available for irrigation in urban gardens through a fountain.

CIRCULARITY STRATEGIES

WATER

Objective: run-off reduction and utilization of rainwater as a water resource for plant irrigation.

How:

rainwater harvesting system by installing appropriate downspouts and storage tanks with filtering and pumping systems for reuse;

technical greenery for drainage and water harvesting for irrigation.

Hanging green on the counter-ground slab: reduces the surface runoff of rainwater and allows some of the collected water to be filtered and stored;

Hanging green on the roof of the sports facility: reduces the surface runoff of rainwater, allows storage for water reuse, and allows green spaces to be enjoyed by improving the usability of the surfaces.

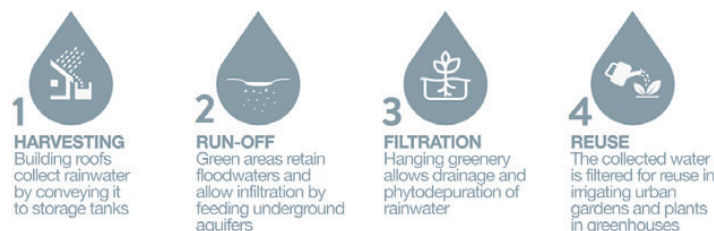


Fig. 11 | Operating scheme of solar thermal and power plants and circularity strategies to reuse food and organic waste for energy (credit: the Authors, 2023).

Fig. 12 | Stormwater collection and reuse scheme and circularity strategies aimed at implementing wastewater and stormwater collection-recovery-reuse processes (credit: the Authors, 2023).

lection-recovery-reuse processes by conveying water from non-polluted draining surfaces into the stormwater network and collection ponds, installation of separate stormwater and wastewater (grey and black) recovery facilities.

The circularity strategies explicated in Figure 12 make it possible to calculate the circularity indicators for:

– ‘stormwater collection, storage and reuse’; this indicator measures the amount of water resource originating from building roofs or any other surface, channelled to facilities that provide for the collection, filtering (treatment, if necessary) and reuse of stormwater in activities that typically do not require water quality to meet potability criteria; a high percentage as a result of this indicator ensures a high level of circularity of the stormwater resource;

– ‘collection, storage and reuse of wastewater’ (grey and black); this indicator measures the presence and effectiveness of facilities to ensure the collection and treatment for subsequent use for ‘secondary’ uses of grey water from sinks, tanks, and, in some cases, condensates from winter and summer air conditioning systems; it also separately measures the presence and effectiveness of facilities to ensure the collection and treatment for subsequent use for ‘secondary’ uses of black water; a high percentage outcome of this indicator ensures a high level of wastewater circularity.

Conclusions and research perspectives | The research significantly impacts the Scientific Community, filling an obvious gap in the interpretation of industrial heritage as a resource with a dual value, not only cultural and spatial but also material and energetic, leading to an advancement of knowledge related to intervention on and in the existing, through the construction of a complex approach to adaptive reuse, oriented to climate neutrality and

efficient and circular use of resources, consistent with the Green Building Approach.

In fragile contexts, the main objective is developing a circular approach to the adaptive reuse of industrial sites for constructing low-carbon and low-energy intervention methodologies, as well as the definition of circular, ecological, and energy project evaluation systems in an integrated operational framework of traditional and innovative technologies. Also innovative, in comparison with contemporary experiments, is the holistic approach that interprets the interactions between the resource flows that characterise the site, converge in the building organism, and spread throughout the context: the circular view of material, energy, and ecological resource flows permeates the fabric-building-component system in the adaptive design of the existing. The most obvious limitations are determined by the complexity of implementing multidisciplinary approaches in a multicriteria operating system, which emerges especially when assessing levels of circularity. The indicator systems refer to multiscale systems, consistent with the different components of industrial sites, whose application shows heterogeneous indices, which are only sometimes applicable in a simplified mode.

The operational methodology, finalised in the research, also paves the way for the involvement of the local community; it starts with the mapping of needs placed at the basis of the project through proactive processes, including the activation of creative industry initiatives as forms of conservation of ecological, energy and material resources in a circular ecosystem.

The research perspectives are oriented on two levels: the gradual systematisation of the results – obtained in the experiments for scenarios developed on the different cases examined through a critical synthesis of the outcomes – allows for the

extrapolation of operational guidelines, to be structured in the form of project guidelines and to be submitted to public contracting stations and heritage management agencies, such as the State Property Office; in-depth study of systems for the evaluation of the circularity of adopted solutions, comparing specific indicators, indices and protocols, enables the development of a specific model for circular adaptive reuse strategies, also by transferring complex approaches (such as the Sustainable Circular Index) with the combination of multiple indicators, to understand the effects of processes from a Life Cycle Thinking perspective.

Acknowledgements

This paper is the product of research and experimentation activities carried out in continuity since 2015 with the relevant territorial administrations on the individual sites of experimentation, specifically and in depth investigated within the following projects funded by ‘Sapienza’ University of Rome:

– University Research ‘NZEHB – The Historic Building in the Scenario of Ecological and Energy Transition – Circular Approach, Energy Improvement, Adaptive Reuse’ (lit. ‘NZEHB | L’edificio storico nello scenario della transizione ecologica ed energetica | Approccio circolare, miglioramento energetico, riuso adattivo’), 2022-2024; Principal Investigator: S. Baiani; Research Group: P. Altamura, G. Turchetti, G. Romano with A. Campa, M. Janeva and M. S. Elkaranshaw; y;

– PON Research (Italian DM 1062/2021) ‘Climate, green technologies and circular communities – Design of innovative settlement models according to the Green Building Approach for the purpose of climate change mitigation and reduction of their impacts, through sustainable management of technologies and resources’ (lit. ‘Clima, tecnologie green e comunità circolari | Progettazione di modelli insediativi innovativi secondo il Green Building Approach ai fini della mitigazione dei cambiamenti climatici e della riduzione dei loro impatti, attraverso la gestione sostenibile di tecnologie e risorse’), 2021-2024; Scientific Coordinator: F. Tucci; Researcher: P. Altamura.

Note

1) For more information on the CLIC Project, see the webpage: clicproject.eu/deliverables/ [Accessed 15 April 2024].

References

ACE – Architects Council of Europe (2018), *Leeuwarden Declaration – Adaptive re-use of the built heritage – Preserving and enhancing the values of our built heritage for future generations*, Adopted on 23 November 2018 in Leeuwarden. [Online] Available at: ace-cae.eu/uploads/tx_jidocumentsview/LEEWARDEN_STATEMENT_FINAL_EN-NEW.pdf [Accessed 15 April 2024].

ARUP (2020), *Five-minute guide – Zero net energy in buildings*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-net-zero-energy-in-buildings [Accessed 15 April 2024].

ARUP (2016), *The circular economy in the built environment*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment [Accessed 15 April 2024].

Baiani, S., Altamura, P. and Giordano, R. (2022), “Giacimenti della memoria e Miniere urbane – Rigenerazione del patrimonio industriale in ottica di eco-compatibilità, decarbonizzazione, circolarità – L’ex Mira Lanza a Roma”, in Currà, E., Docci, M., Menichelli, C., Russo, M. and Severi,

L. (eds), *Stati Generali del Patrimonio Industriale 2022*, Marsilio Editori, Venezia, paper 9.1.14.

Baiani, S., Altamura, P., Lucchi, E. and Romano, G. (2023), “Integration of Solar Technologies in Historical Buildings – Construction of an Evolutionary Framework of Good Practices”, in Sayigh, A. (ed.), *Mediterranean Architecture and the Green-Digital Transition, Innovative Renewable Energy*, Springer, Cham, pp. 253-263. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-33148-0_21 [Accessed 15 April 2024].

Baiani, S., Altamura, P. and Rossini, G. (2023), “Il rovesciamento della piramide – Superiuso dei Termovalorizzatori di Colleferro | The reverse Pyramid – Superuse of Colleferro Incinerators”, in Baratta, A. F. L., Calcagnini, L. and Magarò, A. (eds), *Atti del V Convegno Internazionale Recycling | Proceeding of the 5th International Conference Recycling*, Anteferma, Edizioni, Conegliano (TV), pp. 132-145.

Baiani, S., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), “Widespread Industrial Heritage in Fragile Sites as a Resilient Resource – A Life Cycle and NetZero Approach to Regeneration”, in Battisti, A. and Baiani, S. (eds), *ETHICS – Endorse Technologies for Heritage Innovation – Cross-disciplinary Strategies*, Springer, Cham, pp. 243-262. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-50121-0_15 [Accessed 15 April 2024].

Battisti, E. (2001), *Archeologia industriale – Architettura, lavoro, tecnologia, economia e la vera rivoluzione industriale*, Jaca Book, Milano.

Bayer, P., Attard, G., Blum, P. and Menberg, K. (2019), "The geothermal potential of cities", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 106, pp. 17-30. [Online]. Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.019 [Accessed on 15 April 2024].

De Gregorio, S., De Vita, M., De Berardinis, P., Palmero, L. and Risdonne, A. (2020), "Designing the Sustainable Adaptive Reuse of Industrial Heritage to Enhance the Local Context", in *Sustainability*, vol. 12, issue 21, article 9059, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12219059 [Accessed on 15 April 2024].

De Joanna, P., Bronzino, E. and Lusi, V. (2022), "Resilienza e circolarità nel progetto edilizio sostenibile – Strumenti di valutazione integrata preliminare | Resilience and circularity in sustainable building design – Integrated tools for pre-intervention assessment", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 122-135. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12112022 [Accessed 15 April 2024].

Douet, J. (ed.) (2022), *Industrial Heritage Reloaded | National Reports 2019-2022 on Industrial Heritage presented on the Occasion of the XVIII International TICCIH Congress, Canada Research Chair in Urban Heritage, Université du Québec à Montréal 28/08-03/09 2022*, Montreal. [Online] Available at: ticcih.org/wp-content/uploads/2022/08/2022-TICCIH-National-Reports.pdf [Accessed 15 April 2024].

EEA – European Environment Agency (2022), *Beyond Water Quality – Sewage treatment in a circular economy*, EEA Report n. 05/2022. [Online] Available at: doi.org/10.2800/897113 [Accessed 15 April 2024].

EEA – European Environment Agency (2019), *Adaptation Challenges and Opportunities for the European Energy System – Building a climate resilient low-carbon energy system*, EEA Report n. 01/2019. [Online] Available at: doi.org/10.2800/227321 [Accessed 15 April 2024].

EU Water Alliance (2020), *Opportunity and necessity for Europe to build a water-smart society and circular economy*. [Online] Available at: eu-wateralliance.eu/wp-content/uploads/EU-Water-Alliance-Manifesto.pdf [Accessed 15 April 2024].

EURES (2019), *Sostegno alla competitività del territorio attraverso il recupero e la valorizzazione dei siti industriali dismessi nella Provincia di Roma – Relazione Illustrativa del progetto – Bando per il sostegno alla competitività delle imprese per lo sviluppo economico del territorio 2019 – I edizione – Sezione A*. [Online] Available at: rm.camcom.it/moduli/downloadFile.php?file=oggetto_incarichi_art18/1924412141710__OPROGETTO+EURES.pdf [Accessed 15 April 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 'Fit for 55' – delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 15 April 2024].

European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, document 52020DC0562, 562 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0562 [Accessed on 15 April 2024].

European Commission (2020b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098 [Accessed on 15 April 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the*

European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0662 [accessed on 15 April 2024].

Foster, G. (2020), "Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts", in *Resources, in Conservation and Recycling*, vol. 152, article 104507, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rresconrec.2019.104507 [Accessed 15 April 2024].

Ghisellini, P., Ripa, M. and Ulgiati, S. (2018), "Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector – A literature review", in *Journal of Clean Production*, vol. 178, pp. 618-643. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207 [Accessed 15 April 2024].

Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016), "A review on circular economy – The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp. 11-32. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007 [Accessed 15 April 2024].

Gravagnuolo, A., Angelis, R. and Iodice, S. (2019), "Circular Economy Strategies in the Historic Built Environment – Cultural Heritage Adaptive Reuse", in *Proceedings of the STS Conference Graz 2019*, pp. 121-144. [Online] Available at: doi.org/10.3217/978-3-85125-668-0-08 [Accessed 15 April 2024].

Gustafsson, C. (2019), "Conservation 3.0 – Cultural heritage as a driver for regional growth", in *SCIRES it | Scientific REsearch and Information Technology*, vol. 9, issue 1, pp. 21-32. [Online] Available at: doi.org/10.2423/i22394303v9n1p21 [Accessed 15 April 2024].

Irwin, T. (2018), "The Emerging Transition Design Approach", in Storni, C., Leahy, K., McMahon, M., Lloyd, P. and Bohemia, E. (eds), *Design as a catalyst for change | DRS International Conference 2018, 25-28 June, Limerick, Ireland*. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.210 [Accessed 15 April 2024].

Liu, F., Tait, S., Schellart, A., Mayfield, M. and Boxall, J. (2020), "Reducing carbon emissions by integrating urban water systems and renewable energy sources at a community scale", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123, article 109767, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2020.109767 [Accessed 15 April 2024].

Luciano, A., Altamura, P., Baiani, S. and Cutaia, L. (2023), "The building stock as an urban mine – The case of the circular regeneration of disused buildings", in *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 33, article 101104, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scp.2023.101104 [Accessed 15 April 2024].

McKinsey&Company (2015), *Growth within – A circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] Available at: mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe [Accessed 15 April 2024].

Pedata, L., Altamura, P. and Rossi, L. (2024), "Turning Heritage Railway Architecture into an Infrastructure for Resilience and Circularity – An Opportunity for Sustainable Urban Regeneration", in Battisti, A. and Baiani, S. (eds), *ETHICS – Endorse Technologies for Heritage Innovation – Cross-disciplinary Strategies*, Springer Nature, Cham, pp. 329-358. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-50121-0_20. [Accessed 15 April 2024].

Pluciennik-Koropczuk, E., Myszograj, S. and Mąkowski, M. (2022), "Reducing CO₂ Emissions from Wastewater Treatment Plants by Utilising Renewable Energy Sources – Case Study", in *Energies*, vol. 15, issue 22, article 8446, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15228446 [Accessed 15 April 2024].

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. and Hanemaaijer, A. (2017), *Circular Economy – Measuring innovation in the product chain*, The Hague. [Online] Available at: pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-

measuring-innovation -in-product-chains-2544.pdf [Accessed 15 April 2024].

Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Quatraro, F., Vatanparast, H., Shiung Lam, S., Aghbashlo, M. and Tabatabaei, M. (2022), "Biomass and organic waste potentials towards implementing circular bioeconomy platforms – A systematic bibliometric analysis", in *Fuel*, vol. 318, article 123585, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123585 [Accessed on 15 April 2024].

Rigillo, M., Galluccio, G. and Paragliola, F. (2023), "Digitale e circolarità in edilizia – Le KETs per la gestione degli scarti in UE | Digital and circularity in building – KETs for waste management in the European Union", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 247-258. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13212023 [Accessed 15 April 2024].

Rockefeller Foundation, Resilience Shift, SIWI and ARUP (2019), *The City Water Resilience Approach*, London. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/the-city-water-resilience-approach [Accessed 15 April 2024].

Romano, G., Baiani, S., Mancini, F. and Tucci, F. (2023), "Reducing CO₂ Emissions and Improving Water Resource Circularity by Optimizing Energy Efficiency in Buildings", in *Sustainability*, vol. 15, issue 17, article 13050, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su151713050 [Accessed 15 April 2024].

The European Parliament and the Council of the European Union (2018a), *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*, document 32018L0844, PE/4/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj [Accessed 15 April 2024].

The European Parliament and the Council of the European Union (2018b), *Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*, document 32018L2002, PE/54/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj/ita/pdf [Accessed 15 April 2024].

UNEP – United Nations Environmental Programme (2012), *Measuring water use in a green economy – A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8062 [Accessed 15 April 2024].

UNI/TS 11820:2022, *Measuring circularity – Methods and indicators for measuring circular processes in Organizations*. [Online] Available at: store.uni.com/uni-ts-11820-2022 [Accessed 15 April 2024].

Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R. and Witlox, F. (2016), "Towards a Circular Economy – The Role of Dutch Logistics Industries and Governments", in *Sustainability*, vol. 8, issue 7, article 647, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8070647 [Accessed 15 April 2024].

WEF – World Economic Forum (2021), *Circular Cities – A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities*, The Imagine If Water Series, Briefing Paper July, Geneva/Cologny. [Online] Available at: www3.weforum.org/docs/WEF_Imagine_IF_Water-Series_2021.pdf [Accessed 15 April 2024].