

District Circular Transition e progetto tecnologico verso un modello di Circular City

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Fabrizio Tucci, Serena Baiani, Paola Altamura, Valeria Cecafozzo,

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

fabrizio.tucci@uniroma1.it

serena.baiani@uniroma1.it

paola.altamura@uniroma1.it

valeria.cecacosso@uniroma1.it

Abstract. Nei processi di rigenerazione urbana, in ottica di transizione circolare, l'approccio multiscale, integrato e sistemico consente di definire scenari di intervento improntati a una rinnovata concezione di sostenibilità ambientale-economica-sociale, caratterizzata da circolarità di flussi di risorse materiali e immateriali. Gli esiti delle ricerche traducono tali istanze in un modello metodologico alla scala del distretto, sperimentato in due quartieri ERP, in un'ottica di *circular district*. Si dimostra come, applicando un modello di transizione ecologica circolare ai distretti urbani, si possa pervenire all'obiettivo di neutralità climatica 2050, migliorandone al contempo qualità ecosistemica, prestazioni ambientali e adattività bioclimatica in un'ampia visione delle città *green*.

Parole chiave: *Circular District; Green City Approach; Circular City; Resource Efficiency; Innovation Hub.*

Framework strategico di riferimento per gli interventi di *deep building renovation* in un'ottica multiscale di *Circular Transition*

Il contributo illustra un modello di riqualificazione profonda dell'esistente, sperimentato e validato¹ che, indagando il rapporto progetto-*circular transition* e lavorando sulla dimensione multiscale dei comparti urbani, mira alla ridefinizione delle *performance* ambientali, energetiche e sociali per l'attivazione di un *circular district* caratterizzato da elevata *resource efficiency* e da flussi *closed-loop* di risorse materiali e immateriali, anche in rispondenza agli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica. Un modello di intervento adattivo, definito col coinvolgimento di *Urban policy-makers*, verificato su quartieri ERP, presenti in modo diffuso nel territorio nazionale, con caratteristiche architettoniche, costruttive e tecnologiche simili.

La metodologia è stata messa a punto nel solco delle sperimentazioni internazionali sugli eco-distretti degli ultimi venti anni,

District Circular Transition and technological design towards a Circular City model

Abstract. In the processes of urban regeneration, in a circular transition perspective, a multiscale, integrated and systemic approach allows intervention scenarios to be defined, based on a renewed conception of environmental-economic-social sustainability characterised by circular flows of material and non-material resources. Research results translate these demands into a methodological model at the district scale, trialled in two public housing neighbourhoods in Rome, to turn them into "circular districts". It is demonstrated that, by applying a circular model of ecological transition to urban districts, the 2050 goal of climate neutrality may be attained, while at the same time improving ecosystemic quality, environmental performance and bioclimatic adaptivity in a wide vision of green cities.

Keywords: Circular district; Green city approach; Circular city; Resource efficiency; Innovation hub.

con un'attenzione ai vincoli ecologici di contesto e all'equità intergenerazionale dello sviluppo, incoraggiando l'uso intelligente delle risorse e mitigando gli effetti dei cambiamenti climatici attraverso un approccio resiliente (Georgiadou and Hacking, 2011; Antonini and Tucci, 2017).

Focus innovativo è l'integrazione della circolarità delle risorse fisiche (materiali, rifiuti, acqua, verde) e immateriali (aria, energia) e degli aspetti partecipativi e comportamentali degli utenti, per definire innovative soluzioni e interazioni uomo-tecnologia-cultura-ambiente.

L'attivazione di distretti sul modello *Circular Economy Innovation Hub*, per incrementare la resilienza degli insediamenti rispetto alle sfide economiche, ambientali e sociali, promuove attraverso il progetto la gestione *closed-loop* dei flussi di risorse durante l'intervento e nelle successive fasi di vita, inclusi l'uso e l'*end-of-life*, con il coinvolgimento degli abitanti e la prefigurazione dei comportamenti sociali. In particolare, le risorse materiali derivanti dall'intervento sul costruito sono valorizzate nel processo di riqualificazione, mentre gli scarti prodotti in fase d'uso (rifiuti solidi, sfalci e potature, materiali e componenti) sono utilizzati come risorsa all'interno di processi circolari, anche per riattivare l'economia locale.

In quest'ottica, parte integrante del processo di ridefinizione dell'assetto funzionale degli ambiti di intervento nei quartieri ERP di Torvecchia e Pineto-Valle Aurelia, è rappresentata dallo sviluppo delle strategie rigenerative circolari in interazione con gli abitanti.

L'iter metodologico si basa sull'indagine demografica, confron-

Strategic framework of reference for deep building renovation in a multiscale perspective of Circular Transition

This paper illustrates a model of deep requalification of the existing structures, trialled and validated¹ which, by investigating the design/circular transition relationship and working on the multiscale dimension of urban districts, aims to redefine environmental, energy and social performance in order to activate a circular district marked by high resource efficiency and closed-loop flows of material and non-material resources, also in response to decarbonisation and climate neutrality objectives. This intervention model is an adaptive one, defined with the involvement of urban policymakers and verified in public housing neighbourhoods of the 1970s and 1980s, widespread on national territory with

similar technological, constructive and architectural features.

The methodology was perfected in the first of the cited pieces of research in the groove of the international experiments on eco-districts over the past twenty years, with attention on the setting's ecological constraints and the intergenerational equity of development, encouraging the intelligent use of resources and mitigating the effects of climate change through a resilient approach (Georgiadou, Hacking, 2011; Antonini and Tucci, 2017).

Innovative focus in the trials is the integration of the circularity of physical resources (materials, waste, water, greenery) and non-material ones (air, energy), and of the participatory and behavioural aspects of users, aiming to define new solutions and innovative human-technology-culture-environment interactions.

tata con gli esiti della consultazione dei cittadini, finalizzata a sondare il livello di soddisfazione derivato dalle condizioni abitative attuali e le aspettative di miglioramento, con un questionario dedicato, somministrato mediante una *survey on-line*. Attraverso la mappatura delle risorse, potenzialmente valorizzabili tramite processi di *circular economy*, e in base agli input ottenuti dal processo partecipativo, si arriva all'individuazione di specifiche innovazioni introducibili nell'*Innovation Hub* (Fig. 1) che consentono di prefigurare l'integrazione di nuove attività, spazi pubblici e luoghi dedicati (officine, *atelier* e luoghi per la vendita di prodotti di seconda vita), utili a supportare i flussi di risorse contribuendo in modo sistematico e interrelato a:

- incrementare la *resource efficiency*;
- prevenire e ridurre i rifiuti, attraverso riuso e riciclo;
- la gestione circolare della risorsa idrica;
- ottimizzare la distribuzione dell'energia, prodotta da risorse locali e distribuita in rete;
- incoraggiare l'acquisto di prodotti e l'attivazione di servizi circolari;
- ridurre gli inquinanti, in ottica di decarbonizzazione, attraverso un migliore uso dell'assetto costruito e di soluzioni tecniche innovative;
- creare economie locali e posti di lavoro, derivati dall'applicazione di approcci circolari;
- aumentare la consapevolezza dei benefici ambientali indotti dai sistemi circolari e cambiare i modelli comportamentali.

La costruzione dell'apparato analitico-valutativo è stata supportata da indagini strumentali incentrate su mappatura e simulazione dei flussi di risorse e sulla valutazione delle ricadute in ambito sociale e ambientale, per la definizione di scenari di intervento.

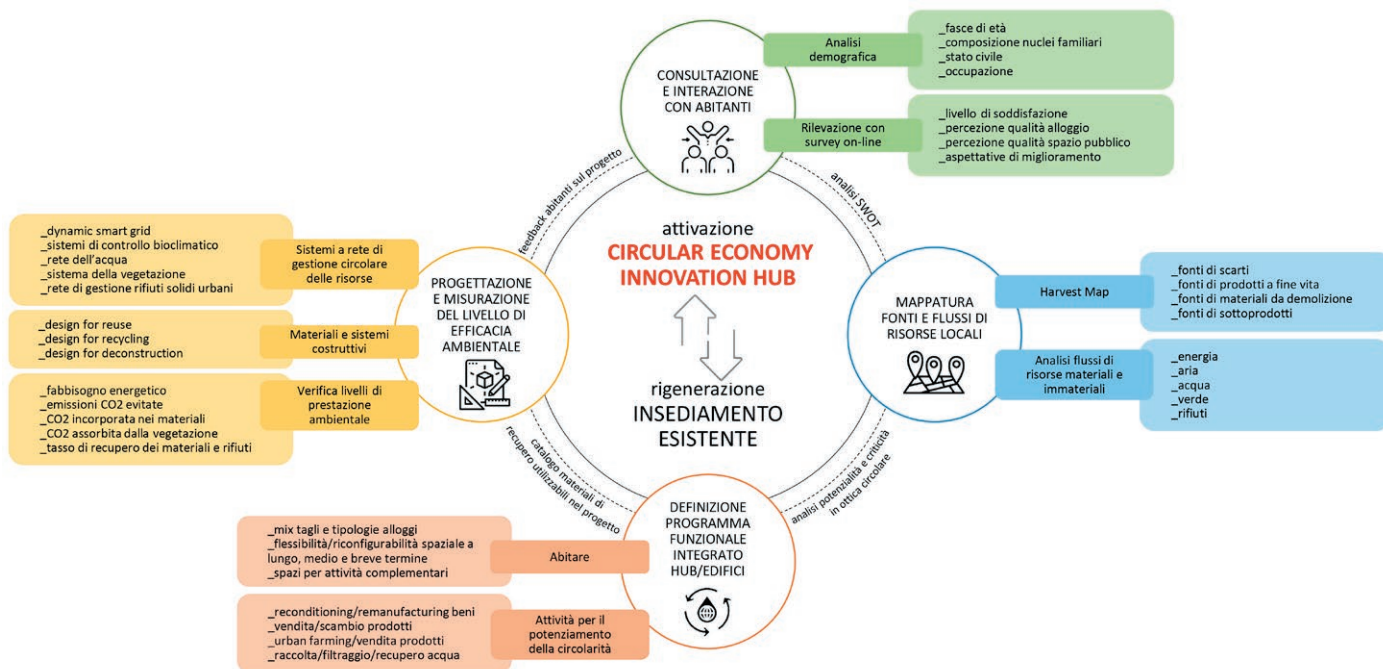
La principale implicazione degli esiti della ricerca è l'offerta al committente pubblico di un modello – aperto, flessibile, adattivo e in costante evoluzione – per intervenire, in ottica di transizione circolare, nella gestione dei diversi contesti. Il distretto circolare diviene così un *regenerative environment*, orientato al paradigma *zero waste* per tutti i flussi di risorse.

Ciò rilancia la consapevolezza che l'efficacia del progetto, fondata sull'interrelazione tra tecnologia e circolarità gestionale, può essere raggiunta operando alla scala urbana verso i modelli del *green city approach*, dell'eco-quartiere e del distretto *green* (Tucci, 2018) e lavorando sull'integrazione degli effetti determinati sugli spazi *indoor* e nei comportamenti *outdoor*.

Un modello di gestione circolare dei materiali nelle fasi del processo di intervento rigenerativo dei distretti

Gli approcci delineati perseguono un elevato livello di *material resource efficiency*, all'interno dell'obiettivo di ottimizzazione delle *performance* ambientali degli insediamenti. Oltre alla conservazione e *upcycling* degli edifici esistenti – azioni strategiche per ridurre il fabbisogno di materiali e i relativi impatti in

01 |



fase di pre-produzione e produzione – si delineano i seguenti obiettivi specifici:

- limitare il consumo di materie prime;
- favorire l'approvvigionamento di materiali e prodotti a km zero e/o di provenienza locale;
- ridurre al minimo il volume di rifiuti prodotti, a breve e lungo termine (*Design for Deconstruction*);
- contenere il livello di *embodied carbon* nei materiali utilizzati nell'intervento.

La metodologia prevede la ricognizione di componenti e materiali costituenti il sistema edilizio, la stima del relativo volume e peso e il calcolo della CO₂ incorporata². Contestualmente alla definizione delle soluzioni per il riuso degli edifici, è operata la quantificazione di materiali e componenti destinati alla rimozione e la relativa stima dell'*embodied carbon*. Sono, quindi, valutate le opzioni tecniche che evitino il conferimento a discarica, contemplando il riuso come scenario preferenziale rispetto al riciclo, e il reimpiego *in situ* come soluzione ottimale. Le diverse strategie sono valutate attraverso la comparazione di costi e benefici di tipo ambientale, tecnologico ed economico.

In parallelo, è realizzata la mappatura a scala locale di materiali provenienti da altre filiere (*Harvest Map*), attraverso una *survey online* e il contatto con le aziende, mediante l'erogazione di questionari e sopralluoghi mirati a visionare gli *stock* di materiali (eccedenze, scarti, prodotti difettati, residui di lavorazione) potenzialmente recuperabili nell'intervento (Fig. 2) (Altamura and Baiani, 2019).

Dal punto di vista metodologico, aspetto determinante per la valutazione del livello di *material resource efficiency* raggiunto è l'individuazione di indicatori quantitativi che permettano la misurazione dell'efficacia delle scelte. In particolare:

The activation of districts on the "Circular Economy Innovation Hub" model in order to augment existing settlements' resilience to economic, environmental and social challenges promotes, through design, the closed-loop management of resource flows during the intervention and in the subsequent life phases, including use and end-of-life, with the inhabitants' involvement and the anticipation of social behaviours. In particular, the material resources derived from the intervention on the building stock are valorised in the requalification process, while the "discards" produced in the use phase (urban solid waste, cuttings and prunings, materials and components) are used as a resource within circular processes, also to reactivate the local economy. In this perspective, an integral part of the process of redefining the function-

al arrangement of the public housing neighbourhoods of Torvecchia and Pineto-Valle Aurelia is represented by the development of circular regenerative strategies in interaction with the inhabitants.

The methodological process is based on the demographic investigation compared with the results of the citizen consultation aimed at probing the level of satisfaction derived from current living conditions and expectations for improvement, with a dedicated questionnaire administered in an online survey. Through the mapping of existing resources that may be valorised through circular economy processes, and based on the participatory process inputs, specific innovations are identified and may be introduced into the Innovation Hub (Fig. 1), making it possible to integrate, within residential settlements, new

- il contenuto di riciclato nei materiali (indicatore on/off presente nei Criteri Ambientali Minimi GPP per l'Edilizia, DM 11/10/2017);
- il tasso di *landfill diversion* dei materiali da demolizione (ulteriore indicatore presente nei CAM GPP);
- la quota di materiale recuperato *in situ*;
- la quantità di CO₂ incorporata conservata, evitando la demolizione, e quella preservata, attraverso il riuso o riciclo *in situ*, evitando consumo energetico ed emissioni per il trasporto.

In fase progettuale, il processo porta all'integrazione di tre diverse modalità di approvvigionamento dei materiali necessari:

1. individuazione di componenti recuperabili dagli edifici nella fase di demolizione selettiva (quali infissi esterni e interni), sottoponibili a *remanufacturing* ai fini del riuso *in situ* (Fig. 3);
2. identificazione di fonti secondarie di materiali e componenti da edifici o industrie dell'intorno;
3. selezione, per coprire il fabbisogno residuo, di materiali nuovi rinnovabili e certificati, con abbattimento di impatti ambientali e costi di intervento, garantendo la riutilizzabilità e riciclabilità dei materiali (ARUP, 2016).

I risultati ottenuti nei diversi contesti denotano un livello elevato di circolarità raggiungibile attraverso il recupero dalle demolizioni parziali e l'approvvigionamento da fonti primarie e secondarie. Nell'ambito della rigenerazione di Pineto-Valle Aurelia (Fig. 4), su ciascun edificio, di cui si conserva circa il 79% dei materiali in peso (contenenti il 59% dell'*embodied carbon*), si dimostra la possibilità – implementando più opzioni tecniche circolari a fine vita – di raggiungere una quota di recupero dei

activities, public spaces and dedicated places (workshops, studios and places for the sale of second-life products) to support the flows of resources while contributing, in a systematic and interrelated way, to:

- increasing resource efficiency;
- preventing and reducing waste, through reuse and recycling;
- the circular management of water resources;
- optimising energy management processes, with production from available resources and networked distribution;
- encouraging the purchase of circular products and the activation of circular services;
- reducing pollutants with a view to decarbonisation, through improved use of the built arrangement and of innovative technical solutions;
- creating local economies and jobs

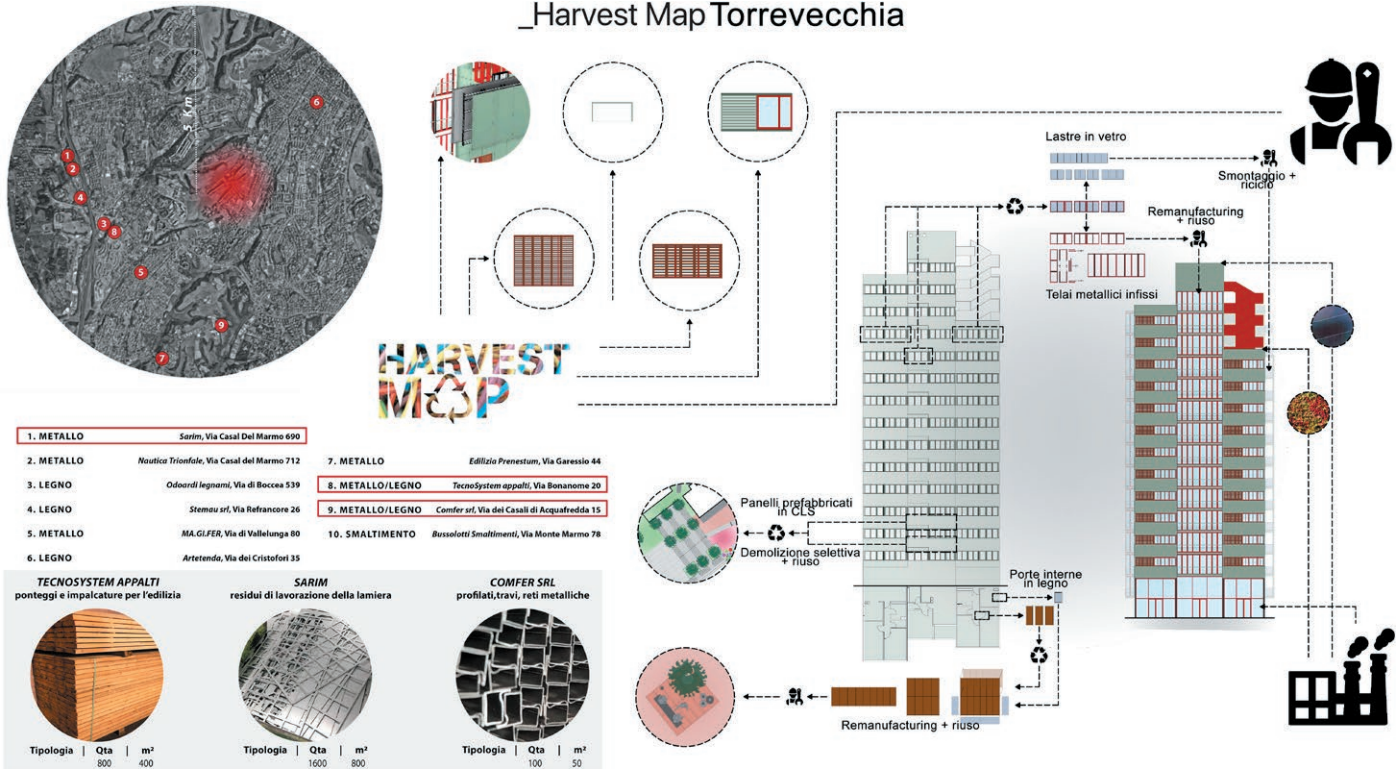
derived from the application of circular approaches;

- raising awareness of the environmental benefits induced by circular systems and change of behavioural models.

The construction of the analysis/assessment apparatus was supported by instrumental investigations focused on mapping and simulating resource flows and on assessing the impacts in the social and environmental setting, in order to define intervention scenarios.

The main implication of the research results is, therefore, offering the public contracting authority a model – open flexible, adaptive and constantly evolving – in order to intervene in the management of various settings with a perspective of circular transition. The circular district thus becomes a regenerative environment oriented to

_Harvest Map Torrevecchia



materiali da demolizione pari all'89% in peso, superiore alla soglia del 70% (Dir. 98/2008) richiamata nei CAM Edilizia (Par. 2.4.2). Di tale quantitativo, il 72% viene recuperato *in situ* producendo aggregati riciclati da reimpiegare prevalentemente per sottofondi di pavimentazioni esterne. L'elevata soglia di recupero garantisce di preservare il 79% dell'*embodied carbon* dei materiali destinati a demolizione, che vanno a sostituire nuovi materiali i cui impatti ambientali sono evitati.

Un modello di gestione circolare multiscalare integrata dei flussi di risorse in tutte le fasi di vita dei distretti

Obiettivo del secondo *step* è lo sviluppo di un distretto che permetta di passare dal modello *resource drain* a quello *resource cir-*

La transizione dalla fase di intervento alla fase di vita utile dei distretti urbani apre a una visione più ampia, che include servizi e reti di distribuzione o raccolta, per la chiusura dei cicli.

wards the zero-waste paradigm for all resource flows.

This relaunches the awareness that the design's effectiveness, founded upon the interrelationship between technology and circularity of management, can be achieved by operating at the urban scale towards the models typical of the green city approach, of the eco-neighbourhood and of the green district (Tucci, 2018) and by integrating the effects caused by the various systems on the indoor spaces and in outdoor behaviour.

A model of circular management of construction and demolition materials in the phases of the regenerative intervention process of districts

The outlined approaches pursue a high level of material resource efficiency within the objective of optimising settlements' environmental performance. Beyond the conservation and

upcycling of existing buildings – strategic actions for reducing the need for materials and their impacts in the pre-production and production phase – the following are outlined as specific objectives:

- limiting the consumption of raw materials for the intervention;
- favouring the procurement of “zero km” and/or locally sourced materials and products;
- minimising the volume of waste produced over the short and long term (Design for Deconstruction);
- containing the level of embodied carbon in the materials used in the intervention.

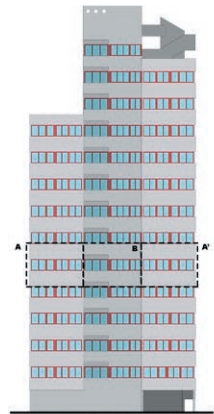
Firstly, the adopted methodology calls for taking stock of the components and materials constituting the building system, estimating its volume and weight and calculating the embodied CO₂. When the solutions for reusing

the buildings are being defined, the materials and components destined for demolition are quantified and the relative embodied carbon is estimated. The technical options to avoid landfilling are then assessed, contemplating reuse as the preferential scenario for recycling, and onsite reuse as the optimal solution. The various strategies were lastly assessed through the comparison of costs and benefits of an environmental, technological and economic nature. In parallel, the materials originating from other supply chains were mapped at the local scale (*Harvest Map*) by means of an on-line survey and direct contact with companies through the delivery of questionnaires and on-the-spot inspections aimed at viewing the stock of materials (surplus, discards, defective products, processing residues) that may potentially be recovered in the intervention (Fig. 2) (Altamura

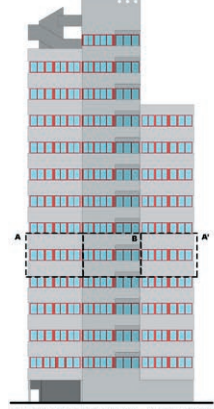
and Baiani, 2019).

From the methodological standpoint, the decisive aspect for assessing the level of material resource efficiency that has been achieved is the identification of quantitative indicators allowing the choices' effectiveness to be measured. In particular:

- the recycled content in the materials (on-off indicator present in the GPP Minimum Environmental Criteria for Construction, Ministerial Decree of 11 October 2017);
- the rate of landfill diversion of demolition materials (additional indicator present in the GPP MEC);
- the rate of materials recovered onsite;
- the amount of embodied CO₂ conserved avoiding demolition, and of that, preserved through onsite reuse or recycling, thereby avoiding energy consumption and transport-related emissions.



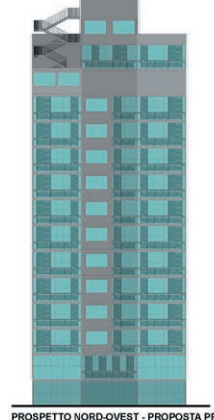
PROSPETTO SUD-EST - STATO DI FATTO



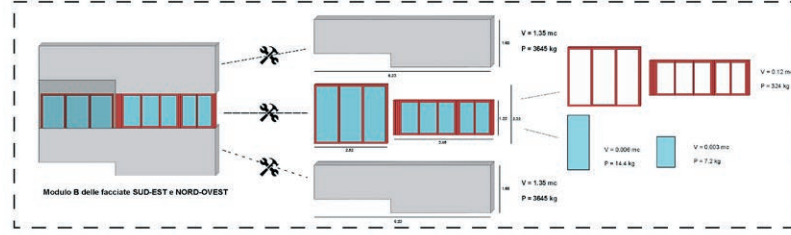
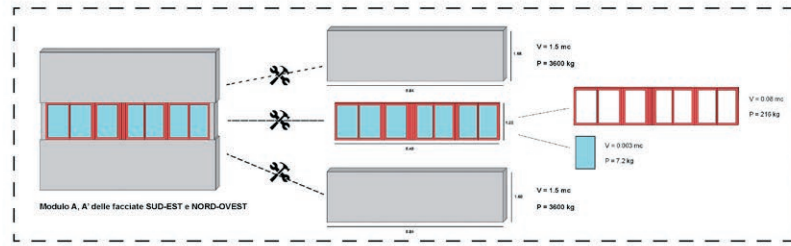
PROSPETTO NORD-OVEST - STATO DI FATTO



PROSPETTO SUD-EST - PROPOSTA PROGETTUALE



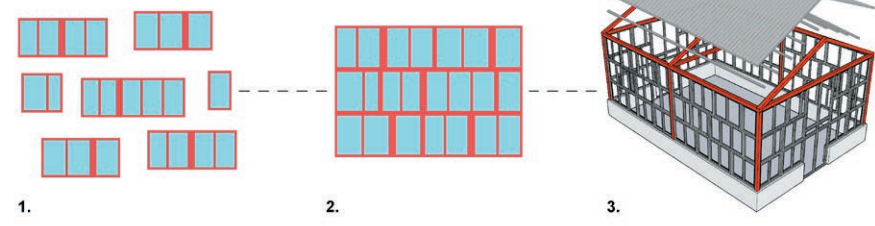
PROSPETTO NORD-OVEST - PROPOSTA PROGETTUALE



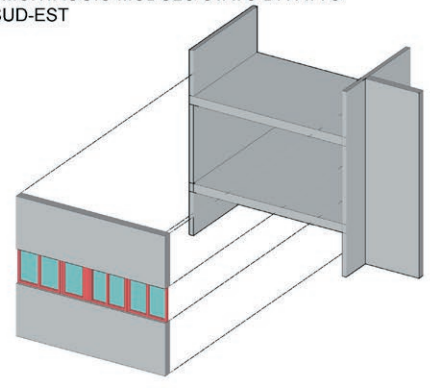
AZIONI TECNICHE

- Riuso IN SITO
- Riuso FUORI DAL SITO
- Riciclo FUORI DAL SITO

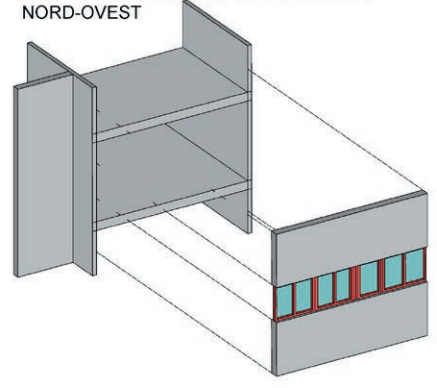
ESEMPIO DI RIUSO IN SITO DEI MATERIALI



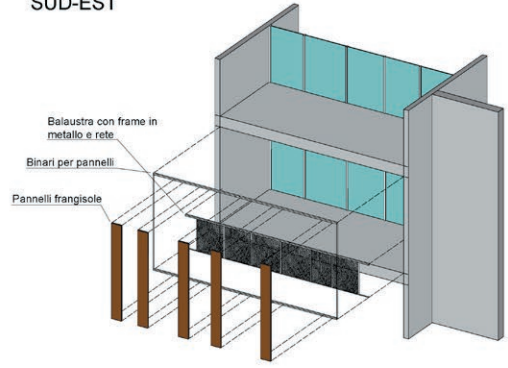
SMONTAGGIO MODULO STATO DI FATTO SUD-EST



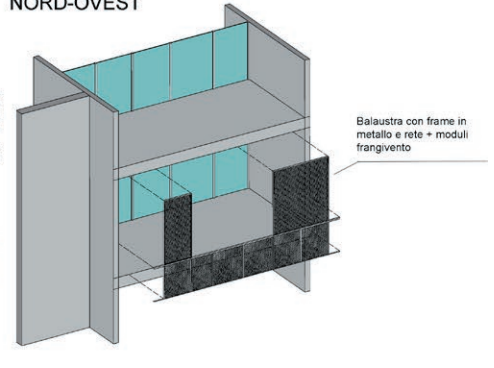
SMONTAGGIO MODULO STATO DI FATTO NORD-OVEST



MONTAGGIO MODULO PROPOSTA PROGETTUALE SUD-EST



MONTAGGIO MODULO PROPOSTA PROGETTUALE NORD-OVEST



Le componenti per i parapetto delle logge sono composti da tubolari e reti di recupero derivati da scarti di lavorazione di aziende limitrofe. Confer srl, distante 3,4 km

Il legno utilizzato per le pannellature scorrevoli è ricavato da un'azione limitrofa. Odoardi Legnami srl

cularity, condizione che, alla scala di sistema urbano, attribuisce un nuovo significato ai flussi di risorse.

La sperimentazione si basa sull'analisi del metabolismo urbano degli ambiti di studio da cui sono dedotti gli *input* per lo sviluppo di un piano d'azione integrato e sistemico, contenente gli indirizzi principali, e un pacchetto di interventi esemplificativi, potenziale "cassetta degli attrezzi" da trasferire in contesti simili. Tale scenario è stato perfezionato attraverso un modello basato sulla valutazione dell'impatto potenziale di ogni intervento sulla domanda e offerta di risorse, oltre che in termini di emissioni di CO₂. L'approccio analitico-valutativo e propositivo-progettuale, di tipo multiscale, può essere ricondotto a quattro principali obiettivi:

- ridurre strutturalmente la domanda di risorse attraverso sistemi efficienti e circolari;
- rallentare, restringere e chiudere i circuiti dei fattori materiali e immateriali, utilizzando le risorse in modo sinergico;
- soddisfare la domanda residua di risorse attraverso fonti rinnovabili e a km zero, evitando lo smaltimento "a perdere" e la diminuzione di valore ecologico;
- gestire, attraverso sistemi di monitoraggio, il bilanciamento delle risorse disponibili, evitando sprechi.

Sono rappresentate, a seguire, le principali linee d'intervento

adottate nei distretti di Torrevecchia e Pineto-Valle Aurelia, in relazione alle modalità di gestione di energia, aria, acqua, verde e rifiuti.

Energia

La gestione dei flussi energetici non può limitarsi al raggiungimento di livelli di efficienza, ma dovrebbe essere orientata al perseguimento di una serie, processualmente concatenata, di obiettivi:

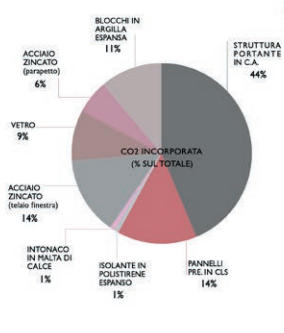
- ridurre la domanda energetica fino al raggiungimento, per fasi, del modello *Zero Energy* o, se possibile, *Positive Energy*;
- massimizzare gli apporti passivi, attraverso soluzioni e dispositivi integrati, nella consapevolezza che, oltre al comfort ambientale, possano incidere sui comportamenti energetici;
- ridurre i consumi utilizzando apparecchiature ed elettrodomestici ad alta efficienza e orientando gli utilizzatori verso il cambiamento dei comportamenti;
- generare energia da fonti rinnovabili integrate (solare termico e fotovoltaico; mini e micro-eolico; geotermia; biomassa);
- distribuire le diverse forme di energia attraverso *dynamic smart grid*, per modulare gli apporti energetici, adattandoli ai fabbisogni, nella giornata e nelle stagioni.

04 | VALUTAZIONE DELLA MATERIAL RESOURCE EFFICIENCY

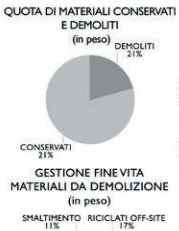
STIMA DELLA CO2 INCORPORATA NEGLI EDIFICI OGGETTO DI RIQUALIFICAZIONE

UNITA TECNOLOGICA	MATERIALI EDIFICIO ESISTENTE	VOLUME TOTALE [m3]	PESO SPECIFICO [kg/m3]	PESO TOTALE [Kg]	CO2 INCORPORATA UNITARIA [Kg CO2/Kg]	CO2 INCORPORATA TOTALE [Kg CO2]
STRUTTURA	Struttura portante in c.a.	2.040,16	2.400,00	4.896.384	0,14	685.494
	Pannelli pref. in cls [sp. 16 cm]	668,80	2.400,00	1.605.120	0,14	224.717
TAMPONATURA	Isolante in polistirene espanso [sp. 4 cm]	133,26	35,00	4.664	2,57	11.987
	Intonaco in malta di calce [sp. 2 cm]	18,84	1.800,00	33.912	0,41	13.904
INFISSI ESTERNI	Acciaio zincato [ferrofinestra sp. 5 cm]	15,68	7.850,00	123.088	1,80	221.558
	Vetro [sp. 4 mm]	66,37	2.500,00	165.925	0,86	142.696
TRAMEZZI	Acciaio zincato (parapetto) [sp. 4 cm]	19,54	2.700,00	52.758	1,80	94.964
	Blocchi in argilla espansa [sp. 10 cm]	842,27	1.600,00	1.347.632	0,13	175.192
Totale [Kg]				8.229.483,10	Totale [Kg CO2]	1.570.512
CO2 incorporata totale per i 6 edifici del quartiere [Kg CO2]						9.423.070

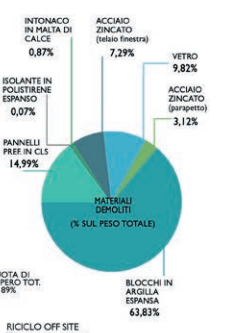
RIPARTIZIONE CO2 INCORPORATA PER MATERIALE



QUOTA DI MATERIALI CONSERVATI E DEMOLITI (in peso)

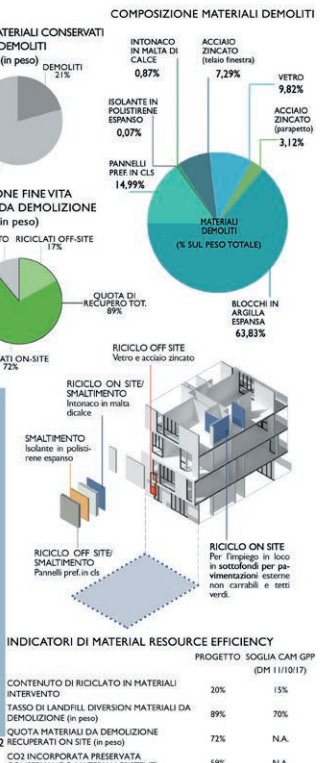


COMPOSIZIONE MATERIALI DEMOLITI



GESTIONE CIRCOLARE DEI MATERIALI DA DEMOLIZIONE

MATERIALI OGGETTO DI DEMOLIZIONE	VOLUME DEMOLITO [m3]	QUOTA DEMOLITA PER MATERIALE [%]	PESO [Kg]	SCENARIO DI GESTIONE FINE VITA MATERIALE	QUOTA DI MATERIALE RECUPERATO [%]	PESO MATERIALE RECUPERATO [Kg]	CO2 INCORPORATA MATERIALI RICICLATI** [Kg Co2]	CO2 INCORPORATA PRESERVATA (MATERIALI NON DEMOLITI) [Kg Co2]
Struttura portante in c.a.	-	-	-	RICICLO OFF-SITE/SMALTIMENTO	30,00%	75.931,20	10.630,37	685.493,76
Pannelli pref. in cls [sp. 16 cm]	105,46	15,77%	253.104,00	SMALTIMENTO	-	-	-	189.278,96
Isolante in polistirene espanso [sp. 4 cm]	35,15	26,38%	1.230,25	RICICLO ON-SITE/SMALTIMENTO	60,00%	8.834,40	3.622,10	8.824,64
Intonaco in malta di calce [sp. 2 cm]	8,18	43,42%	14.724,00	RICICLO OFF-SITE	100,00%	123.088,00	221.558,40	-
Acciaio zincato [ferrofinestra sp. 5 cm]	15,68	100,00%	123.088,00	RICICLO OFF-SITE	100,00%	165.920,00	142.691,20	-
Vetro [sp. 4 mm]	66,37	100,00%	165.925,00	RICICLO OFF-SITE	100,00%	52.750,00	94.950,00	-
Acciaio zincato (parapetto) [sp. 4 cm]	19,54	100,00%	52.758,00	RICICLO ON-SITE*	100,00%	1.078.096,00	140.152,48	35.038,43
Blocchi in argilla espansa [sp. 10 cm]	673,81	80,00%	1.078.096,00					
Totale [Kg]			1.488.925,25			Totale [Kg]	Totale [Kg CO2]	926.502,63
Peso totale materiali da demolizione per i 6 edifici del quartiere [Kg]			10.133.551,50	*per impiego in loco in sottopavimenti esterni non carrabili		Peso totale 6 edifici	Totale per i 6 edifici [Kg CO2]	5.559.015,76
Quota dei materiali esistenti (in peso) soggetta a demolizione [%]			21%	Quota di recupero		89%	Quota preservata	
				Quota di recupero on-site		72%	**recuperata in misura diversa in base alle emissioni di CO2 del processo di riciclo dei vari materiali, in media al 79%	



INDICATORI DI MATERIAL RESOURCE EFFICIENCY

CONTENUTO DI RICICLATO IN MATERIALI INTERVENTO	20%	15%
TASSO DI LANDFILL DIVERSION MATERIALI DA DEMOLIZIONE (in peso)	89%	70%
QUOTA MATERIALI DA DEMOLIZIONE RICICLATI ON-SITE (in peso)	72%	NA.
CO2 INCORPORATA PRESERVATA CONSERVANDO MATERIALI ESISTENTI	59%	NA.

PROGETTO: SOGLIA CAM GPP (DM 11/10/17)

A fronte di azioni di progetto coerenti con tali obiettivi, la metodologia di calcolo si basa sulla valutazione dei consumi complessivi, sulla base di *benchmark* e dati parametrici, rapportando le valutazioni agli scenari migliorativi conseguiti (Fig. 5), stimando la riduzione di CO₂ emessa (TABULA, 2016).

Aria

La gestione dell'aria, attraverso il controllo delle interazioni tra flussi ventilativi e superfici permeabili, ombreggiate e con alto coefficiente di riflettanza solare, incide sul microclima locale attenuando l'isola di calore, con effetti positivi sul raffrescamento – ma anche con ricadute sul riscaldamento passivo invernale – elevando il benessere ambientale e riducendo il consumo di energia, nonché le emissioni di gas serra e inquinanti atmosferici. La sperimentazione ha verificato diversi sistemi per valorizzare le potenzialità della ventilazione naturale all'interno degli spazi confinati, con l'impiego integrato di *buried earth pipes*, camini di ventilazione, torri del freddo e scambiatori di calore.

Per la stima della riduzione del fabbisogno di raffrescamento, il microclima degli spazi esterni è simulato con il software ENVI-met, analizzando la situazione *ante e post operam*. Gli interventi adottati consentono una contrazione del tempo di funzionamento e una significativa riduzione di fabbisogni energetici ed emissioni di CO₂ (Fig. 5).

Acqua

Le politiche europee hanno fissato i parametri per il miglioramento dell'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici, favorendo l'attuazione di processi di raccolta-recupero-riuso delle acque piovane e grigie (EC, 2016). Nella sperimentazione sono adotta-

ti sistemi che consentono di riutilizzare acqua piovana e grigia, separando opportunamente i flussi per il trattamento, la depurazione e il riuso. L'utilizzo di acque grigie, immagazzinate in serbatoi, opportunamente trattate e reimmesse nel circuito, permette un risparmio di acqua potabile del 50%.

Le acque piovane, raccolte e recuperate da coperture e spazi esterni, costituiscono alternative per l'irrigazione di giardini, spazi vegetati e componenti verdi degli involucri. Sono integrate diverse modalità di raccolta, incrementando le superfici permeabili e utilizzando sistemi di *bio-swale* e di *rain garden* per convogliare, contenere, trattare e reimmettere nei circuiti la risorsa idrica (Fig. 6).

L'indicatore quantitativo è valutato tramite la stima dei consumi, in termini comparativi di mc/anno nello stato di fatto e di progetto, considerando i cicli virtuosi del recupero-trattamento-riuso delle acque (ISTAT, 2020). Le considerevoli emissioni di CO₂ equivalente risparmiata indicano l'importanza di perseguire tale asse strategico, in modo integrato, in ogni intervento.

Verde

L'incremento delle aree verdi nel paesaggio urbano concorre, in relazione ai servizi ecosistemici che assicura, al raggiungimento di diversi obiettivi, quali la valorizzazione del capitale naturale e degli habitat per il miglioramento della biodiversità, l'uso sostenibile del suolo in riferimento alla permeabilità, il miglioramento del microclima attraverso processi evapotraspiratori, l'innalzamento della qualità dell'aria attraverso la sottrazione di fattori inquinanti, l'incremento dei processi di decarbonizzazione attraverso l'assorbimento di CO₂. In riferimento a quest'ultimo aspetto, si evidenzia che la sottrazione di

In the design phase, the process leads to the integration of three different modes of procurement of the necessary materials:

1. identifying components that can be recovered from the buildings during selective demolition (such as exterior and interior door and window frames), which may be subject to remanufacturing for the purposes of onsite reuse (Fig. 3);
2. identifying secondary sources of materials and components from buildings or industries in the surrounding area (in the case of Torrevicchia, recovering metal components from the disassembly of buildings from the former Fiera di Roma);
3. selecting, in order to cover the remaining need, new materials that are renewable and certified, with low environmental impacts and intervention costs, thereby guarantee-

ing the reusability and recyclability of the materials (ARUP, 2016).

The results obtained in the various settings point to a high level of circularity that may be achieved through recovery from partial demolitions and procurement from primary and secondary sources. For example, in the setting of the regeneration of Pineto-Valle Aurelia (Fig. 4), for each building, about 79% of whose materials in weight are conserved (containing 59% of the total embodied carbon), there is a possibility, by implementing several end-of-life circular options, to achieve a rate of recovery of materials equal to 89% in terms of weight, thereby surpassing the 70% threshold set by Directive 98/2008 and referred to in the Construction MEC (Par. 2.4.2). Of this amount, 72% is recovered onsite, producing recycled aggregates to be reused mainly for foundations for exterior pavement.

The high recovery threshold guarantees preserving 79% of the embodied carbon of the demolished materials, which is destined to replace new materials whose environmental impacts are therefore avoided.

An integrated, multiscale circular management model of resource flows (energy, air, water, greenery, waste) in all the districts' life phases

The transition from the intervention stage to the useful life of urban districts opens a broader vision that includes services and networks for closing the loops. The objective of the second step of the study is to develop a district that permits the passage from the resource drain model to resource circularity, a condition that, on the urban system scale, gives a new meaning to the resource flows.

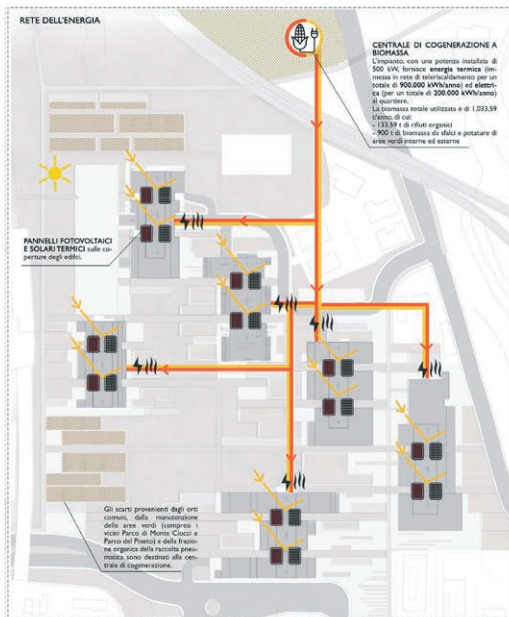
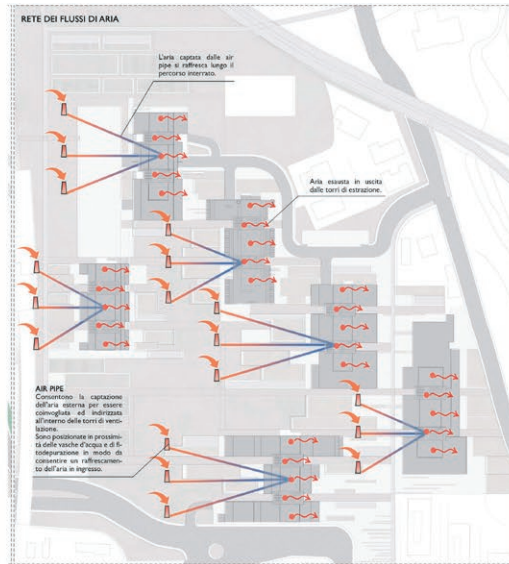
The experimentation is based upon

analysis of the urban metabolism of the study environments, from which the inputs for the development of an integrated and systemic action plan containing the main guidelines were deduced, along with a package of sample interventions – a potential “toolbox” of reference to be transferred to similar contexts. This scenario was perfected on a case-by-case basis through a flow model based on the assessment of each intervention's potential impact on the supply and demand of resources, as well as in terms of CO₂ emissions. The analysis/assessment and proposition/design approach, multiscale in type, may therefore be ascribed to four main objectives:

- structurally reducing the demand for resources through efficient and circular systems;
- slowing, restricting and closing the circuits of material and non-materi-

05 | RETE DELL'ENERGIA E DELL'ARIA

STATO DI FATTO		PROGETTO	
Superficie utile residenziale	40.152 mq	Superficie utile residenziale	33.672 mq
Superficie utile non residenziale	13.674 mq	Superficie utile non residenziale	21.960 mq
Residenziale Stato di fatto*			
Consumi ed usi comuni	21.361 Kwh/a	Consumi ed usi comuni	8.988 Kwh/a
Consumi elettr. + Illum	1.247.400	Consumi elettr. + Illum	807.257
Riscaldamento	8.944.048	Riscaldamento	386.269
Raffrescamento	252.958	Raffrescamento	14.331
Acqua calda sanitaria	671.736	Acqua calda sanitaria	0
TOT	11.187.503	TOT	2.590.432
*Ipotezzate situazioni base standard sulla base della tipologia di edificio			
Non Residenziale Stato di fatto			
Consumi elettr. + Illum	783.092 Kwh/a	Consumi elettr. + Illum	1.273.111 Kwh/a
Riscaldamento	2.324.580	Riscaldamento	453.726
Raffrescamento	355.524	Raffrescamento	30.832
Acqua calda sanitaria	82.044	Acqua calda sanitaria	26.423
TOT	3.565.240	TOT	28.335
TOT residenziale e non	14.742.743	TOT residenziale e non	3.568.866
Emissioni di Co2 sono state ridotte del -72%			
PROGETTO			
• Efficientamento involucro e impianti			
Insieme di azioni di efficientamento dell'involucro e degli impianti, dispositivi ed elettrodomestici a risparmio energetico, illuminazione a led, ascensori con recupero di energia in frenata e recupero di calore dal sistema delle acque grigie.			
TOT	6.621.685 Kwh/a	TOT	2.999.217 Kwh/a
• Mitigazione e microclima			
Riduzione dei fabbisogni di raffrescamento e riscaldamento			
Stato di fatto	5.973.438 Kwh/a	Progetto	5.973.438 Kwh/a
Estate			
Temperatura della zona urbana	30	Temperatura mitigata	29
Ti	26	Risparmio energetico %	20%
Inverno			
Temperatura della zona urbana	10,1	Temperatura mitigata	11,9
Ti	20	Risparmio energetico %	2%
• Sistemi di riscaldamento e raffrescamento passivo			
TOT	3.093.791 Kwh/a	TOT	3.093.791 Kwh/a
• Sistemi di ottimizzazione ICT			
TOT	2.999.217 Kwh/a	TOT	2.999.217 Kwh/a



Illuminazione pubblica

Kwh/a risparmiati per l'illuminazione pubblica con lampade a led con integrato il fotovoltaico: **46.710 Kwh/a**
% di riduzione rispetto all'esistente: **-100%**

• **Energia da fonti rinnovabili**

La richiesta energetica del quartiere pari a **2.999.217 Kwh/a** viene soddisfatta da fonti energetiche rinnovabili:

- Fotovoltaico**: 649.558 Kwh/a (22% sul TOT fabbisogno energetico)
- Solare Termico**: 26.423 Kwh/a (1% sul TOT fabbisogno energetico)
- Biomassa Prodotta da:**
 - Manutenzione del verde: 146.970 Kg/a, 693.698 Kwh/a
 - Rifiuti organici: 215.195 Kg/a, 2.092.166 Kwh/a
- TOT Biomassa**: 2.785.865 Kwh/a (93% sul TOT fabbisogno energetico)

La somma dell'energia prodotta dalle fonti rinnovabili è pari al **115%** sul TOT fabbisogno energetico. **Emissioni Co2 pari a 0**

In sintesi

Il fabbisogno energetico finale del quartiere (illuminazione e consumi energetici degli edifici) è soddisfatto grazie a fonti energetiche rinnovabili.

Fabbisogno energetico totale del quartiere	2.299.217 Kwh/a
Energia da fonti rinnovabili	3.461.846 Kwh/a
Surplus	1.162.629 Kwh/a

Esistente: 14.742.743 Kwh/a

Efficientamento involucro e impianti e Mitigazione e microclima	6.621.685
Sistemi di riscaldamento e raffrescamento passivo	3.093.791
Sistemi di ottimizzazione ICT	2.299.217
Energia da fonti rinnovabili	4.418.833

TOT STATO DI FATTO: 14.742.743 Kwh/a
TOT: 2.999.217 Kwh/a
Emissioni Co2 sono ridotte del **100%** (0 KgCo2/a)

al factors by making synergistic use of resources;

- meeting the residual demand for resources through renewable and "zero km" resources, thereby avoiding waste and the diminishment of ecological value;
- managing, through the use of monitoring systems, the balancing of available resources, thereby avoiding waste.

The main lines of intervention adopted in the districts of Torvecchia and Pineto-Valle Aurelia are represented below, in relation to the energy, air, water, greenery and waste management modality.

Energy

The management of energy flows cannot be limited to achieving levels of

efficiency, but should be oriented towards the pursuit of a series – concatenated in its processes – of objectives:

- reducing energy demand until achieving, in phases, the "zero energy" or – when possible – the "positive energy" model;
- maximising passive supplies using integrated devices and solutions, being aware that, in addition to environmental comfort, they may have an impact on overall energy behaviour;
- reducing consumption by using high-efficiency equipment and appliances and, at the same time, by guiding users towards behavioural changes;
- generating energy from integrated renewable sources (solar thermal

and photovoltaic; mini- and micro-wind; geothermal; biomass);

- distributing various forms of energy via dynamic smart grids to modulate energy supplies, adapting them to needs, during the day and the seasons.

Given the design actions consistent with these objectives, the adopted calculation methodology is founded upon the assessment of overall consumption, on the basis of benchmarks and parametric data, relating these evaluations to the achieved improvement scenarios (Fig. 5) and assessing CO₂ emissions reduction (TABULA, 2016).

Air

Managing air by controlling the interactions between ventilation flows and

permeable surfaces that are shaded and, with a high coefficient of solar reflectance, impacts the local microclimate by mitigating the "heat island" with positive effects on cooling (but also on wintertime passive heating), thus improving environmental well-being and reducing energy consumption as well as CO₂ emissions and atmospheric pollutants. The experimentation verified various systems to assess the potentiality of natural ventilation within confined spaces, with the integrated use of buried earth pipes, ventilation stacks, cold towers and heat exchangers.

To estimate the reduction of the cooling requirement, the microclimate of exterior spaces is simulated with ENVI-met software, analysing the

RETE DEI RIFIUTI

UTENTI = 1824

STATO DI FATTO → 47% Raccolta differenziata

Produzione rifiuti solidi urbani
 1.122.672 Kg/a
 Tasso di raccolta differenziata a Roma
 47%
 Totale RSU a raccolta differenziata quartiere
 527.656 Kg/a
 Totale RSU indifferenziati quartiere
 595.016 Kg/a

EMISSIONI CO2 TOTALI PER RSU INDIFFERENZIATO
 TOT 2.975.081 KgCo2/a

N° passaggi raccolta a settimana 7

Tipologia di Veicolo: DIESEL
 Sistema di raccolta attuale su strada

Emissioni di Co2 per il trasporto rifiuti nel quartiere
 11.903 KgCo2/a

EMISSIONI CO2 TOTALI PER RSU E TRASPORTO
 TOT 3.050.547 KgCo2/a*

RETE DELL'ACQUA

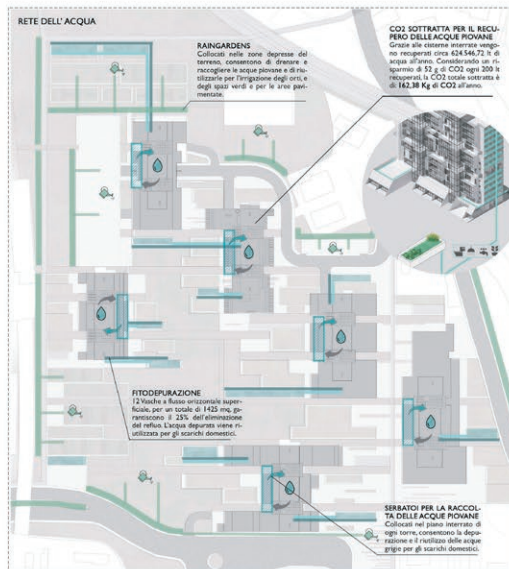
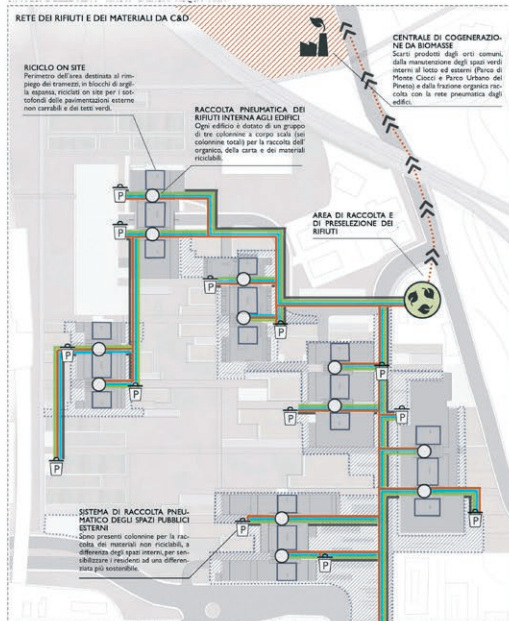
Fabbisogno acqua residenziale e non
 Acqua potabile residenziale:
 1.133.152 mc/a

Acqua potabile non residenziale:
 1.155 mc/a
 Totale fabbisogno idrico:
 1.134.308 mc/a
 41.582 KgCo2/a

Fabbisogno acqua per l'irrigazione degli spazi verdi
 Verde di pertinenza (57.794 mq) annuale è pari a:
 38.606 mc/a
 11.953 KgCo2/a

Bilancio consumi di acqua potabile degli edifici di progetto res e non
 TOT 172.914 mc/a

TOTALE CO2
 53.534 KgCo2/a



UTENTI = 1824

PROGETTO → -10% 70% Produzione rifiuti grazie alla prerazione di un sistema più consapevole Raccolta differenziata

Produzione rifiuti solidi urbani
 1.010.405 Kg/a
 Totale RSU a raccolta differenziata quartiere
 707.283 Kg/a
 Totale RSU indifferenziati quartiere
 303.121 Kg/a

EMISSIONI CO2 TOTALI PER RSU INDIFFERENZIATO

TOT 1.515.607 KgCo2/a*
 *La quota di organico non considerato perchè calcolata nell'ambito della produzione energetica a biomassa

N° passaggi raccolta a settimana 5

Diminuzione dei km percorsi nel quartiere grazie ad un'ottimizzazione dei punti di raccolta
 Tipologia di Veicolo: METANO

Emissioni di Co2 per il trasporto rifiuti nel quartiere
 336 KgCo2/a

TOT STATO DI FATTO
 TOT 3.050.547 KgCo2/a
 Emissioni Co2 sono ridotte del 50%

Fabbisogno acqua residenziale e non

Acqua potabile residenziale grazie all'inserimento di sistemi di riutilizzo delle acque grigie e meteoriche pari a:
 27.857 mc/a
 Acqua potabile non residenziale grazie all'inserimento di sistemi di riutilizzo delle acque grigie e meteoriche pari a:
 1.031 mc/a
 Totale fabbisogno idrico:
 28.888 mc/a
 8.944 KgCo2/a

Fabbisogno acqua per l'irrigazione degli spazi verdi
 Verde di pertinenza (93.594 mq): 62.520 mc/a
 tetto verde (6.645 mq): 1.329 mc/a
 totale: 63.850 mc/a
 Fabbisogno annuale finale con il recupero delle acque meteoriche e il surplus delle acque recuperate da fitodepurazione:
 0 mc/a
 0 KgCo2/a

Recupero acque grigie
 Totale (residenziale e non) acque grigie recuperate: 38.637 mc/a*
 WC 14.272 mc/a
 Use esterni 7.428 mc/a
 Surplus 16.937 mc/a
 *1° le acque grigie usate contengono il recupero di altre che contribuisce a 386.379 kWh/a. NB: considerando che la percentuale di recupero della fitodepurazione è il 64%

Recupero acque meteoriche
 Totale acque meteoriche captate da tetti piani (10.922 mq): tetto giardino (6.645 mq):
 8.225 mc/a

Bilancio consumi di acqua potabile degli edifici di progetto res e non
 TOT 37.271 mc/a

TOT STATO DI FATTO
 TOT 53.534 KgCo2/a
 Emissioni Co2 sono ridotte del 72%

ante and post operam situation. The adopted interventions allow the operation time to be diminished as well as a significant reduction of energy needs and CO₂ emissions (Fig. 5).

Water

European policies have set parameters to improve efficiency in water use in buildings, by promoting the implementation of processes for the collection-recovery-reuse of rainwater and greywater (EC, 2016). The experimentation adopts systems to reuse both rainwater and greywater originating from the various activities and types of spaces, while separating the flows and guiding their treatment, purification and reuse phases. The use of greywater

stored in tanks, purified and brought back into the circuit, yields a 50% savings of drinking water.

Rainwater collected and recovered from rooftops and exterior spaces provides alternative flows for irrigating gardens, planted spaces and green components of the building envelopes. Various rainwater collection modes are integrated by increasing permeable surfaces and using bio-swale and rain garden systems to convey, contain and treat water and bring it back into the circuits (Fig. 6).

The quantitative indicator was assessed through the estimate of consumption in comparative terms of m³/year in the actual and design state, considering the virtuous cycles of recovery-

treatment-reuse (ISTAT, 2020). The considerable savings of equivalent CO₂ emissions indicate the importance of pursuing this strategic line in an integrated fashion in every intervention.

Greenery

The increase of green areas in the urban landscape contributes, in relation to the multiple ecosystem services that it ensures, towards achieving a variety of environmental objectives, such as the promotion of natural capital and habitats, with improved biodiversity; sustainable land use with reference to permeability; improved microclimate through evapotranspiration processes; higher air quality through pollutants; increased decarbonisa-

tion processes through the absorption of CO₂. With reference to this last aspect, it is emphasised that CO₂ removal was determined through the mapping of trees and green surfaces (Fig. 7). The integration of vegetation on the buildings also yields benefits through the rainwater retention capacity at times of extreme events, and through mitigating the effects of heat waves (ISPRA, 2015) and there is the possibility of using plant cuttings as biomass, thus providing alternative fuel transformable into electric and thermal power through local micro-plants whose use, in a fully circular perspective, further contributes to the objectives of carbon neutrality (ENEA, 2009).

CO₂ è stata determinata in base alla mappatura delle superfici verdi e delle alberature (Fig. 7). L'integrazione di vegetazione sugli edifici permette, inoltre, un accrescimento dei benefici attraverso la capacità di ritenzione dell'acqua piovana in presenza di eventi estremi e di mitigazione degli effetti delle ondate di calore (ISPRA, 2015). La possibilità di utilizzare gli sfalci della vegetazione come biomassa, fornendo combustibile alternativo

trasformabile in energia elettrica e termica, producibile con micro-impianti locali, contribuisce al perseguimento degli obiettivi di neutralità carbonica (ENEA, 2009).

Rifiuti

La costruzione del modello di gestione dei rifiuti risponde alla richiesta dell'UE di adottare modalità integrate per raccogliere,

07 |

CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DELLA CO₂

ANTE OPERAM



SPECIE	CAPACITÀ DI MITIGAZIONE	POTENZIALE DI CATTURA DELLE POLVERI	N°	ASSORBIMENTO CO ₂ MEDIO	
				IN 20 ANNI (t/20)	PER ANNO (Kg/a)
<i>Acacia dealbata</i>	Basso	Basso	19	1,52	76,00
<i>Ailanthus altissima</i>	Buona	Basso	48	43,20	2160,00
<i>Albizia julibrissin</i>	Basso	Basso	4	0,32	16,00
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Ottima	Medio	8	39,76	1988,00
<i>Hedera helix</i>	Basso	Medio	8	0,48	24,00
<i>Ligustrum lucidum</i>	Buona	Medio	20	1,20	60,00
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Medio	Basso	2	5,60	280,00
<i>Morus alba pendula</i>	Medio	Medio	14	6,30	315,00
<i>Nerium oleander</i>	Buona	Medio	21	9,45	472,50
<i>Olea europaea</i>	Buona	Alta	16	7,20	360,00
<i>Pinus pinea</i>	Buona	Medio	39	52,65	2632,50
<i>Pithecolobium tobira</i>	Buona	Alto	26	11,70	585,00
<i>Populus nigra</i>	Basso	Basso	64	12,80	1280,00
<i>Punica granatum</i>	Basso	Basso	6	1,20	120,00
<i>Quercus pubescens</i>	Ottima	Alto	0	0,00	0,00
<i>Quercus cerris</i>	Ottima	Medio	15	46,50	2325,00
<i>Quercus ilex</i>	Medio	Alto	71	113,60	5680,00
<i>Tilia cordata</i>	Ottima	Alto	93	260,40	13020,00
<i>Washingtonia</i>	Basso	Basso	20	1,00	100,00
TOTALE			494		31.494
Assorbimento emissioni superfici verdi					346.764
TOTALE assorbimento emissioni					378.258

POST OPERAM



SPECIE	CAPACITÀ DI MITIGAZIONE	N°	ASSORBIMENTO CO ₂ MEDIO	
			IN 20 ANNI (t/20)	PRIMI 5 ANNI (Kg/a)
<i>Acacia dealbata</i>	Basso	12	0,96	18,00
<i>Acer platanoides</i>	Medio	10	38,00	1380,00
<i>Ailanthus altissima</i>	Basso	50	45,00	1600,00
<i>Carpinus betulus</i>	Basso	10	28,00	1030,00
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Medio	15	74,55	2595,00
<i>Fagus sylvatica</i>	Alta	15	67,50	2625,00
<i>Fraxinus excelsior</i>	Medio	25	70,00	2575,00
<i>Ligustrum lucidum</i>	Medio	20	1,20	30,00
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Basso	2	5,60	206,00
<i>Morus alba pendula</i>	Medio	14	6,30	210,00
<i>Nerium oleander</i>	Medio	10	4,50	160,00
<i>Olea europaea</i>	Alta	20	9,00	320,00
<i>Pinus pinea</i>	Medio	50	67,50	2400,00
<i>Pithecolobium tobira</i>	Alto	26	11,70	416,00
<i>Populus nigra</i>	Basso	64	12,80	384,00
<i>Quercus cerris</i>	Medio	20	62,00	2400,00
<i>Quercus ilex</i>	Alto	80	128,00	4400,00
<i>Tilia cordata</i>	Alto	100	280,00	10300,00
<i>Ulmus minor</i>	Alto	15	42,00	1545,00
TOTALE		558		31.494
Assorbimento emissioni superfici verdi				561.564
TOTALE assorbimento emissioni				608.342

trattare e riutilizzare i rifiuti, in riferimento a un quadro di sistemi di ottimizzazione (EC, 2020). Lo scenario di intervento prevede il sistema di raccolta pneumatica interrato che, dagli spazi comuni ad ogni piano degli edifici, attraverso canali differenziati, confluiscono nel punto di raccolta, per il trasferimento nei centri di trattamento. Negli spazi aperti sono integrate colonnine per il conferimento pneumatico di rifiuti, con l'aggiunta dell'indifferenziato, presente solo all'esterno, come disincentivo per gli abitanti. La frazione di umido, unitamente ai rifiuti verdi, è compostata e riutilizzata nelle aree verdi.

La gestione integrata dei rifiuti permette di ottenere la riduzione di emissioni di CO₂ per effetto del maggior recupero di materiali e di limitati spostamenti dei mezzi. Lo scenario di progetto è l'esito dell'analisi delle modalità di raccolta presenti e della stima della quantità di rifiuti prodotti, elaborata su dati ISPRA, per calcolare la riduzione delle emissioni per l'attuazione dei nuovi cicli (ISPRA, 2020). Sono stati, infine, valutati diversi sistemi di trasporto, con il calcolo del consumo di carburante e delle emissioni di CO₂.

Conclusioni

Il modello di intervento per la rigenerazione dei quartieri ERP a Roma vede nell'adozione di un'ottica di *circular transition*, uno dei principali profili innovativi, che si riverbera, alla scala del distretto, sulla dimensione relazionale edificio-spazio aperto, coinvolgendo anche i sistemi tecnologici adottati per garantire elevati livelli di efficacia nelle sfere ambientale-economica-sociale della sostenibilità, con la convinzione che «the mark of a good decision-making for a sustainable system is a project's ability to sustain itself throughout its entire lifecycle» (Friedman, 2015).

Waste

The waste management model responds to the EU's demand to adopt integrated procedures for collecting, processing and reusing in a framework of optimisation systems (EC, 2020). The intervention scenario calls for an underground vacuum collection system starting from the common spaces present in buildings on each floor, with channels dedicated by waste type converging in a collection point from which the waste is transported to processing centres. Open spaces are also integrated with portholes for vacuum waste collection, with the addition of unsorted waste, present only outside, as a disincentive for inhabitants. The wet fraction, along with green waste, is composted and reused in the green areas.

In this way, integrated waste management reduces CO₂ emissions thanks to

the greater recovery of materials and to less movements of collection vehicles. The design scenario is the result of the analysis of the present modes of collection and of the estimate of the quantity of produced waste, developed on the basis of ISPRA data (ISPRA, 2020), in order to calculate the reduction in emissions obtained through the new cycles. Lastly, the various transport systems were also assessed, calculating fuel consumption and CO₂ emissions in order to determine their contribution to the decarbonisation process.

Conclusions

For the intervention model for regenerating Rome's public housing neighbourhoods, the full adoption of a circular transition perspective is one of the main profiles of innovation that, on a district-wide scale, reverberates on the relational building/open space

dimension, also involving the adopted technological systems in order to guarantee high levels of effectiveness in the environmental-economic-social spheres of sustainability, with the conviction that "the mark of good decision-making for a sustainable system is a project's ability to sustain itself throughout its entire life cycle" (Friedman, 2015).

The adoption of a perspective extending to the life cycle in the entire framework of intervention phases, from design solutions analysis/assessment to arrangement/conception, is recognised as a key approach which, by taking into account all the impacts along the value chain (including the embodied emissions) and, by emphasising potential trade-offs, promotes a sure and effective reliance on secondary resources and makes a decisive contribution towards achieving carbon neutrality in the construction sector (ENEA *et al.*, 2020).

La misura del livello di efficacia dei *Circular Districts* (Fig. 8) è la sfida prioritaria che richiede un incessante affinamento delle strumentazioni, un continuo aggiornamento e incremento dei risultati e un progressivo approfondimento delle metodiche di valutazione, nella consapevolezza della complessità e variabilità dei parametri di riferimento e della necessità di costruire un sistema di previsione degli effetti lungo l'intero ciclo di vita per un sistema urbano rigenerativo e accessibile *by-design*. Dalle sperimentazioni emerge, inoltre, che la transizione circolare, in un'ottica di neutralità climatica, pone le basi per un'innovativa visione dell'intervento rigenerativo, che miri a eliminare il concetto di scarto, rifiuto e spreco nel breve-medio termine (8-10 anni, secondo la media europea) e arrivi a investire, sulla più lunga fase di vita utile, l'intera gamma delle risorse materiali e immateriali, in un perenne processo ciclico *self-sufficient* di dismissione-rigenerazione.

Una visione progettuale, quindi, che ponga al centro il concetto di circolarità nell'accezione più ampia, capace di caratterizzare sia le fasi all'interno di un ciclo di vita (coinvolgendo prima un uso circolare dei materiali di dismissione e costruzione e poi una gestione ampia, integrata e profondamente interagente dei siste-

ity in the construction sector (ENEA *et al.*, 2020).

Measuring the level of effectiveness of the Circular Districts (Fig. 8) is the priority challenge that requires unceasing refinement of the adopted instruments, continuous updating and augmentation of the results to be compared and progressively deeper analysis of the assessment methods, being aware of the complexity and variability of the reference parameters and of the need to build a system to foresee the effects along the entire life cycle for an urban system that is regenerative and accessible by design. The experimentation also shows that circular transition, in a perspective of climate neutrality, lays the foundation for an innovative vision of the regenerative intervention, which aims to eliminate the concept of discard, waste and refuse over the short and medium term (8-10 years,

08 | Bilancio finale emissioni di CO₂

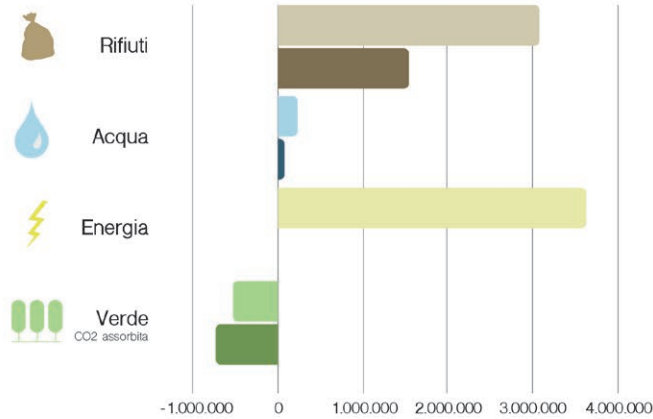
Area d'intervento	119.748 mq	
Utenti	STATO DI FATTO	PROGETTO
	1824	1824
Superficie utile residenziale	40.152 mq	33.672 mq
Superficie utile non residenziale	13.674 mq	21.960 mq

CO₂ INCORPORATA nei materiali da costruzione



STATO DI FATTO	9.423.070	
PROGETTO	5.559.015	59%
STATO DI FATTO	9.027 ton.	
PROGETTO	9.027 ton.	89%

PRESERVATA TRAMITE CONSERVAZIONE STRUTTURA ESISTENTE
 QUOTA DI RECUPERO MATERIALI DA DEMOLIZIONE



STATO DI FATTO	3.050.547	
PROGETTO	1.515.943	-50%
STATO DI FATTO	53.534	
PROGETTO	15.194	-72%
STATO DI FATTO	3.568.856	
PROGETTO	0	-100%
STATO DI FATTO	373.258	
PROGETTO	608.342	-70%



Totale stato di fatto = 10.251.068

Totale progetto = 2.902.988

KgCO₂_{eq}/a

- 72%

Totale stato di fatto = 9.872.810
 considerando la CO₂ assorbita dal verde

Totale progetto = **2.294.646**
 considerando la CO₂ assorbita dal verde

KgCO₂_{eq}/a

- 77%

according to the European average) and ends up involving, over the longer phase of useful life, the entire range of material and non-material resources in a perennial, self-sufficient cyclical process of disposal-regeneration.

It is, therefore, a design vision, that places at the centre the concept of "circularity" in its broadest definition, capable of characterising both the phases within a life cycle (first involving a circular use of construction and surplus materials, and then a broad, integrated and profoundly interactive management of the water-waste-energy-green-air systems) and the set of life cycles that will succeed one another circularly, in a broader and overall vision of the future of "green" cities.

NOTES

¹ The paper illustrates the results of the research "Development of an interven-

tion model for the architectural and technological requalification of ATER in Rome in a perspective of circularity of resources and environmental sustainability of the building stock in the 1970s and 1980s". PI: F. Tucci, Operative coordination S. Baiani. Working group: P. Altamura, V. Cecafozzo. Collaborators: I. Fabiani, M. Avena, S. Ghadiri, M. Scacciatella, M. Poddi, M. Minà.

All images were conceived and developed by the authors and with the contribution of M. Avena, S. Ghadiri, M. Scacciatella for Figure 2; M. Poddi, M. Minà for Figure 3 and I. Fabiani for Figures 4, 5, 6, 7, and 8.

The line set out by this research work includes a number of experimentation efforts including the research "Flexibility for Circularity, Adaptation and Resilience" of Sapienza with the University of Northumbria in Newcastle,

PI: F. Tucci; the research "Closed-loop building materials", PI: S. Baiani.

² In comparison with embodied energy, embodied carbon is the most effective indicator for understanding the impact of the energy used in the phase of the pre-production and production (and the related transport) of construction products on global warming and climate change. Reference is the ICE (Inventory of Carbon and Energy) database, available at: <https://circular-cology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>.

mi di acqua-rifiuti-energia-verde-aria); sia l'insieme dei cicli di vita, che si succederanno circolarmente, in una più ampia visione del futuro delle città *green*.

NOTE

¹ Il paper illustra gli esiti della Ricerca "Sviluppo di un modello d'intervento per la riqualificazione architettonica e tecnologica in un'ottica di circolarità delle risorse e sostenibilità ambientale del patrimonio anni 70-80 dell'ATER di Roma". Responsabile scientifico: F. Tucci. Coordinamento operativo: S. Baiani. Gruppo di Lavoro: P. Altamura, V. Cecafosso. Collaboratori: I. Fabiani, M. Avena, S. Ghadiri, M. Scacciatella, M. Poddi, M. Minà.

Le immagini sono state concepite e sviluppate dagli autori dell'articolo e il contributo di M. Avena, S. Ghadiri, M. Scacciatella per la figura 2; M. Poddi, M. Minà per la figura 3; I. Fabiani per le figure 4, 5, 6, 7, 8.

Sulla linea tracciata dalla ricerca si sono innestate diverse sperimentazioni tra cui la Ricerca "Flexibility for Circularity, Adaptation and Resilience", di Sapienza con University of Northumbria at Newcastle, Resp. scientifico: F. Tucci; Ricerca "Closed-loop building materials", Resp. scientifico: S. Baiani.

² L'*embodied carbon* è l'indicatore più efficace, rispetto all'*embodied energy*, per comprendere l'impatto dell'energia utilizzata in fase di pre-produzione e produzione (e relativo trasporto) dei prodotti da costruzione, su *global warming* e cambiamento climatico. Riferimento è il *database ICE (Inventory of Carbon and Energy)*, available at: <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>.

REFERENCES

Altamura, P. and Baiani, S. (2019), "Superuse and upcycling through design: approaches and tools", in *SBE19 Brussels BAMB-CIRCPATH*, IOP Conference Series, 225, available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/225/1/012014/pdf>.

Antonini, E. and Tucci, F. (Eds.) (2017), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy. La costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro | Architecture, City and Territory Towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architec-*

ture and the City of the Future, Edizioni Ambiente, Milano, Italia.

ARUP (2016), "The Circular Economy in the Built Environment", available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>.

ENEA (2009), "Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale", available at: https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/celle-a-combustibile/rse182.pdf

ENEA, INEC, ACR+, EEB, ECOPRENEUR (2020), "European Circular Economy Stakeholder Platform. Orientation paper", available at: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/leadership-group-construction.pdf>.

European Commission (2016), "EU-level instruments on water reuse", available at: https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EU_level_instruments_on_water-2nd-IA_support-study_AMEC.pdf

European Commission (2020), "Guidance for separate collection of municipal waste" available at: *Guidance for separate collection of municipal waste*, Bruxelles, Belgium.

Friedman, A. (2015), *Fundamentals of Sustainable Neighbourhoods*, Springer, New, York, United State.

Georgiadou, M.C. & Hacking, T. (2011), "Future-Proofed Design for Sustainable Communities", *Sustainability in Energy and Buildings*, 7, 179-188.

ISPRA (2020), "Rapporto rifiuti Urbani", available at: https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani_ed-2020_n-331-1.pdf

ISTAT (2020), "Acqua. Consumo per uso domestico", available at: <https://www.istat.it/it/files/2020/03/Le-statistiche-Istat-sull%E2%80%99acqua.pdf>

TABULA (2016), "Typology Approach for Building Stock Energy Assessment", TABULA WebTool, available at: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>

Tucci, F. (2018), *Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea Editrice, Firenze, Italia.